C. BUZATU
I. CODRU

I. CORODEANU
P. MANOLESCU

ELECTROTEHNICA GENERALĂ

EDITURA DE STAT DIDACTICĂ ȘI PEDAGOGICĂ
BUCUREȘTI — 1960

Ing. I. CORODEANU Ing. C. BUZATU
Ing. P. MANOLESCU Ing. I. CODRU

ELECTROTEHNICA GENERALĂ

MANUAL PENTRU ŞCOLILE DE MAIŞTRI NESPECIALIŞTI

EDITURA DE STAT DIDACTICĂ ŞI PEDAGOGICĂ
BUCUREŞTI 1960

Introducere

Industrializarea țării constituie unul dintre factorii determinanți în construcția socialismului. Pentru industrializare este însă nevoie de energie electrică, care să pună în mișcare utilajele fabricilor și ale atelierelor. Energia electrică este de asemenea utilizată pentru iluminat, transport, agricultură, trebuințe casnice etc. Ea are marele avantaj de a putea fi produsă, transportată, distribuită, utilizată și transformată după nevoie, prin mijloace tehnice economice și practice.

Energia electrică este produsă în centrale termoelectrice, hidroelectrice, atomoelectrice și eoliene, iar transportul și distribuția se fac prin rețele electrice.

Energia electrică se utilizează sub forme foarte variate: de exemplu, motoarele electrice transformă energia electrică primită în lucru mecanic pentru punerea în funcțiune a diverselor mașini; lămpile electrice transformă energia electrică în energie luminoasă; cuptoarele electrice transformă energia electrică în energie termică etc.

Fenomenele electrice sînt utilizate în tehnică nu numai pentru a transforma energia electrică într-o energie de altă formă în scopuri energetice propriu-zise, dar și pentru faptul că permit să se realizeze o serie de operații de control, de reglaj, de automatizare etc., care altfel ar fi foarte dificil sau cu neputință de realizat. Ramura electrotehnicii denumită *electronica* aduce neprețuite servicii în aceste domenii și, în special, în forma cea mai nouă a automaticii, numită *cibernetică*; o serie întreagă de operații care necesită intervenția minții omenești (calcule, comenzi ș.a.) se pot realiza de către anumite mașini, adevărate *creiere electronice*. În alte cazuri, de exemplu în electrocomunicații (radio, telefon, telegraf, televiziune), nu transmiterea unei anumite cantități de energie are importanță, ci realizarea rapidă a unor comunicații. Importanța electrificării a fost genial intuită de marele Lenin încă din primele momente ale existenței Uniunii Sovietice. Istorica formulare *comunism înseamnă puterea sovietică plus electrificarea întregii țări* a fost firul călăuzitor

al primului plan de electrificare a U.R.S.S., numit planul G.O.E.L.R.O. şi al tuturor planurilor de electrificare care au urmat.

Pe baza acestora s-au realizat numeroase centrale, linii de transport şi de distribuţie a energiei electrice. Totodată s-au construit şi nenumărate fabrici pentru materialele necesare, atît producerii, transportului şi distribuţiei energiei electrice, cît şi utilizării acestei energii.

Problema electrificării ţării s-a pus pentru prima oară la noi în cadrul Conferinţei naţionale a P.C.R. din anul 1945.

Ulterior, pe baza experienţei Uniunii Sovietice, Partidul Muncitoresc Romîn a trecut la elaborarea planului de electrificare pe 10 ani — care a devenit pîrghie principală pentru dezvoltarea continuă a industriei noastre socialiste.

În ţara noastră, în anii de democraţie populară s-au construit şi continuă să se construiască într-un ritm foarte viu centrale şi linii electrice. Se menţionează în special termocentralele *Paroşeni*, *Doiceşti*, *Sîngiorgiu*, *Borzeşti*, *Ovidiu*, precum şi hidrocentralele *V. I. Lenin—Bicaz*, *Moroieni*, *Sadu*.

Fabricile de produse electrotehnice din R.P.R. satisfac necesităţile interne mereu crescînde, livrînd totodată produse şi pentru export. Dintre fabricile importante construite în anii de democraţie populară se pot menţiona: *Electroputere*, *Klement Gottwald*, *Electronica*, *Electroprecizia*, *Electromotorul*, *Electroaparataj*, *Grigore Preoteasa*, *Acumulatorul*, *Automatica*, *Fabrica de cabluri şi materiale izolante*, *Electroceramica*, *Electrofarul* etc.

Puterea totală instalată în generatoarele electrice ale centralelor din ţara noastră se ridica în 1958 la 1 507 000 kW (501 000 kW în 1938), iar energia electrică totală produsă în 1958, la 6 184 000 000 kWh (1 130 000 000 kWh în 1938) din care 281 000 000 kWh energie hidraulică (faţă de 148 000 000 kWh în 1938) şi 5 903 000 000 kWh energie termoelectrică (faţă de 982 000 000 kWh în 1938). Centralele electrice sînt interconectate prin linii de transport de înaltă tensiune, cum sînt, de exemplu, linia aeriană de 110 kV care leagă Ardealul cu Muntenia, realizată în anul 1954, şi linia care leagă Muntenia cu Moldova, realizată în 1960. Tot prin linii de transport se leagă sistemul de centrale cu regiunile industrializate din ţara noastră. În afară de linii de 110 kV, există şi linii de 60 kV, 35 kV, 25 kV, 15 kV, 6 kV, precum şi reţele de distribuţie de joasă tensiune.

Din Directivele Congresului al III-lea al P.M.R., care a avut loc în iunie 1960, rezultă că puterea nouă ce se va instala în centralele electrice în perioada 1960—1965 va fi de 2 380 000 kV,

şi anume: 540 000 kW prin amplificarea unor centrale existente (Borzeşti, Paroşeni, Grozăveşti ş.a.) şi 1 840 000 kW în centrale noi (Bicaz, Ploieşti, Luduş, Craiova, Oradea, Tg. Mureş, Iaşi ş.a.).

În ceea ce priveşte producţia de energie electrică, va creşte de la 6 824 000 000 kWh în 1959 la 18 500 000 000 kWh în 1965, adică de 2,7 ori. Se prevede că această producţie va atinge circa 70 000 000 000 kWh în 1975, adică se va produce aproximativ de zece ori mai mult decît în 1959.

Trebuie relevat că politica P.M.R. în domeniul energetic constă în mărirea continuă şi rapidă a producţiei de energie electrică pe cap de locuitor şi, în acelaşi timp, într-o distribuţie a acestei energii care să satisfacă toate regiunile ţării.

Tînăra noastră industrie electrotehnică a făcut de asemenea importante şi rapide progrese. În anul 1958 s-au construit motoare electrice cu o putere totală de 373 731 kW (2 380 kW în 1938), generatoare electrice de 55 315 kVA (3 430 kVA în 1938), transformatoare de 788 591 kVA (11 215 kVA în 1938), conductori electrici în lungime totală de 97 260 km (32 195 km în 1938), 13 577 maşini electrice de spălat rufe (nici una în 1938) şi 138 642 aparate de radio (nici unul în 1938).

Printre marile succese obţinute de către industria noastră electrotehnică menţionăm construcţia unor turbogeneratoare de 3 000 kVA, transformatoare de 15 MVA, motoare de 1 008 kW, compensatoare sincrone de 5 000 kvar, întreruptoare automate în ulei, cu mare putere de rupere, centrale telefonice, agregate de călire de 8 000 kh, materiale izolante de clasă superioară ş.a.

Directivele Congresului al III-lea al P.M.R. arată că industria noastră electrotehnică va face progrese rapide. Astfel, de exemplu, puterea totală a motoarelor electrice fabricate în R.P.R. va creşte de la 467 000 kW în 1959 la 1 100 000 kW în 1965, adică de 2,4 ori, numărul de aparate de radio de la 167 000 în 1959 la 300 000 în 1965, adică de 1,8 ori, numărul televizoarelor de la nici unul în 1959, la 130 000 în 1965.

Din cele arătate rezultă limpede importanţa însuşirii noţiunilor fundamentale de electricitate şi electrotehnică, care sînt necesare nu numai specialiştilor din ramura energiei electrice şi a industriei electrotehnice, dar şi nespecialiştilor, deoarece toţi muncitorii vin în legătură mai mult sau mai puţin directă cu instalaţiile de producere, transport, distribuţie şi mai ales de utilizare a energiei electrice.

Manualul de față este destinat elevilor școlilor tehnice de muncitori calificați și ai școlilor tehnice de maiștri din diversele ramuri industriale, în afară de ramura electrotehnică.



Energia electrică constituie una dintre formele sub care se prezintă energia în natură. Unele fenomene electrice sînt cunoscute din antichitate. Cuvîntul *electricitate* vine de la cuvîntul grecesc *electron*, care înseamnă chihlimbar, deoarece prima experiență (efectuată cu aproape 600 de ani înaintea erei noastre) prin care s-a obținut energie electrică a constat în frecarea unor bucăți de chilimbar. Prin frecare, chihlimbarul capătă proprietatea de a atrage mici corpuri, de pildă bucățele de soc, paie etc. Mai tîrziu au fost descoperite alte fenomene de natură electrică, precum și fenomenele înrudite, numite magnetice. Se presupune că denumirea *magnetic* vine de la localitatea Magnesia din Grecia, unde a fost găsit un minereu care avea proprietatea de a atrage mici bucăți de oțel. Cu studiul legilor care guvernează fenomenele electrice se ocupă disciplina numită *electricitatea*, iar cu studiul legilor care guvernează fenomenele magnetice se ocupă disciplina numită *magnetismul*. Electricitatea și magnetismul sînt ramuri ale fizicii.

Disciplina care se ocupă cu utilizarea fenomenelor electrice și magnetice pentru diferite aplicații tehnice se numește *electrotehnica*. Dezvoltarea electrotehnicii este strîns legată de progresele realizate în cunoașterea fenomenelor electrice și magnetice, precum și în construcția de mașini și aparate.

În disciplina electricității, progrese mai vizibile au început să apară la începutul secolului al XVII-lea, iar în electrotehnică, la jumătatea secolului al XIX-lea.

În anul 1746 se realizează *butelia de Leyda*, primul aparat cu care se putea acumula electricitatea.

În anul 1752, Benjamin Franklin experimentează captarea electricității atmosferice cu ajutorul unui zmeu și tot în aceeași perioadă academicienii ruși Lomonosov și Rihman întreprind o serie de cercetări asupra electricității atmosferice (în urma acestora, Rihman își pierde viața).

Coulomb inventează un aparat cu care stabilește în anul 1785 legea de atracție și de respingere între corpurile electrizate, numită *legea lui Coulomb*. În anul 1791, Galvani publică o lucrare despre electricitatea animală. Pe baza experiențelor lui Galvani, în anul 1800 este realizată, de către Volta, prima sursă de curent electric.

La începutul secolului al XIX-lea, Faraday și profesorul rus Grotgus stabilesc legile electrolizei. În aceeași perioadă, Petrov

— membru al Academiei din Petersburg — descoperă arcul electric, iar Oersted, Ampère, Biot şi Savart se ocupă în special cu lucrări în domeniul electromagnetismului.

În anul 1827, doctorul Ohm stabileşte legea care-i poartă numele, iar în 1831, Faraday descoperă legea inducţiei electromagnetice, lege avînd multe aplicaţii în electrotehnică.

Tot în prima jumătate a secolului al XIX-lea, Lenz, membru al Academiei din Petersburg, şi Joule stabilesc importanta lege Lenz-Joule, privitoare la cantitatea de căldură degajată de conductoarele parcurse de curent electric.

Iacobi — membru al Academiei din Petersburg — are în intervalul 1834—1850 o serie de realizări privind mai ales motorul electric şi telegraful electromagnetic, iar în 1845, Kirchhoff stabileşte legile care îi poartă numele. De asemenea, Planté construieşte în 1859 acumulatorul electric cu plăci de plumb.

Lodîghin realizează în 1873 prima instalaţie de iluminat electric cu ajutorul lămpilor cu incandescenţă. Mai tîrziu, în 1877, Edison a adus unele modificări acestor lămpi, obţinînd patentul pentru S.U.A. şi alte ţări. În 1876, Iablocikov are realizări importante în domeniul lămpilor electrice cu arc şi al transformatoarelor.

Z. Gramme construieşte în 1877 generatorul electric de curent continuu. Maxwell publică în 1873 o lucrare teoretică asupra electromagnetismului, confirmată mai tîrziu prin experienţele lui Hertz.

În jurul anului 1888, Dolivo-Dobrovolski realizează prima linie de energie electrică cu curent alternativ trifazat. Tot Dolivo-Dobrovolski inventează motorul electric asincron şi transformatorul trifazat.

La sfîrşitul secolului al XIX-lea, Stoletov — profesor la Universitatea din Moscova — studiază şi explică fenomenele fotoelectrice, iar Popov — profesor la Institutul electrotehnic din Petersburg — inventează telegraful fără fir.

La începutul secolului al XX-lea, Rozing — profesor la Institutul tehnologic din Petersburg — efectuează primele experienţe în domeniul televiziunii, iar Lorenz creează teoria electronică a electricităţii.

În ultimul timp s-au obţinut mari progrese în domeniul cercetărilor şi realizărilor privind fenomenele electrice sau legate de aceste fenomene. În special descoperirile referitoare la imensele energii care se eliberează atunci cînd se desfac (fisionează) sau se unesc (fuzionează) nucleele atomice ale anumitor corpuri vor permite întregii omeniri înfăptuiri paşnice de o importanţă covîrşitoare pentru bunul trai al tuturor.

Capitolul I

Electrostatica

1. Natura electricității și structura materiei

Din fizică se știe că cea mai mică parte dintr-un corp care *păstrează proprietățile corpului* se numește *moleculă*, iar moleculele sînt constituite din *atomi*. La rîndul său, atomul este constituit dintr-un nucleu (miez) central încărcat cu electricitate pozitivă și una sau mai multe particule, mult mai mici, încărcate cu electricitate negativă, numite *electroni*. Electronii se deplasează în jurul nucleului pe anumite *orbite* (drumuri închise).

Electronul conține sarcina electrică cea mai mică ce poate exista în natură. Sarcina electrică se măsoară cu o unitate de măsură numită coulomb[1]. Un electron are totdeauna o sarcină negativă de [2] $1,6 \cdot 10^{-19}$ C. *În mod normal, sarcina pozitivă a nucleului dintr-un atom este egală cu sarcina negativă a electronilor din același atom*, astfel încît atomul, ca și corpul din care face parte, este *neutru*.

Dacă față de starea neutră, atomii unui corp au un număr mai mare de electroni, *corpul este încărcat negativ*, adică are o *sarcină electrică negativă*. Dacă, dimpotrivă, față de starea neutră numărul electronilor este mai mic, *corpul este încărcat pozitiv*, adică are o *sarcină electrică pozitivă*.

---

[1] Se citește *culomb* și se notează cu litera C.
Această unitate de măsură face parte dintr-un sistem de unități numit MKSA care va fi explicat la capitolul VI. De altfel, toate unitățile utilizate în acest manual — în afara unei mențiuni contrare — fac parte din sistemul MKSA — raționalizat.

[2] $10^{-19} = \frac{1}{10^{19}}$ și în general $X^{-a} = \frac{1}{X^a}$.

2. Electrizare, sarcini și forțe electrice

Se consideră o bobiță *B* din măduvă de soc suspendată printr-un fir *F* de mătase, de un cîrlig sprijinit pe un suport de lemn (fig. 1—1). Acest dispozitiv se numește ***pendul electric***. Dacă se freacă cu o bucată de piele un baston *A* de sticlă și se apropie de bobiță, se constată că bobița este ***atrasă*** de baston. Cînd atracția este mare, bobița atinge bastonul, după care este ***respinsă***. Cînd bastonul de sticlă a fost frecat, el ***s-a încărcat*** cu electricitate (s-a electrizat, s-a încărcat cu o anumită sarcină electrică). În această stare, el exercită o forță de atracție asupra bobiței. La atingerea cu bastonul (electrizare prin contact), bobița s-a încărcat și ea cu electricitate, fiind apoi respinsă.

În figura 1—2 se consideră două pendule electrice. Dacă se încarcă cu electricitate ambele bobițe (se ating cu bastonul de sticlă frecat cu piele) și se apropie, ele se resping, așezîndu-se în pozițiile *a—a*.

Se ating acum bobițele altor două pendule cu un baston de rășină frecat cu o stofă de lînă și se apropie. Și de data aceasta bobițele se resping.

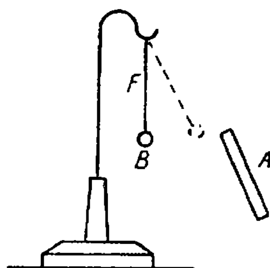


Fig. 1–1. Pendul electric: *A* — baston de sticlă sau de rășină; *B* — bobiță din măduvă de soc; *F* — fir de mătase.

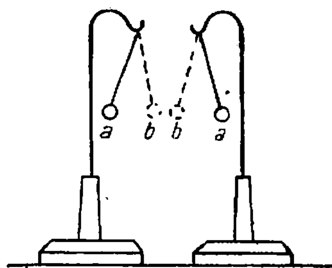


Fig. 1–2. Atracția și respingerea corpurilor electrizate: *a — a* — poziție de respingere; *b — b* — poziție de atracție.

Dacă se apropie acum o bobiță electrizată cu bastonul de sticlă, de una electrizată cu bastonul de rășină, se observă că ele se atrag.

Deci, electricitatea provenită de la bastonul de sticlă este diferită de aceea provenită de la bastonul de rășină. Primul fel

de electricitate s-a numit sticloasă sau *pozitivă* (notată cu semnul +), iar al doilea fel electricitate — răşinoasă sau *negativă* (notată cu semnul —).

Electrizarea bastonului de sticlă prin frecare corespunde pierderii unui anumit număr de electroni, care trec pe bucata de piele cu care a fost frecat. De asemenea, electrizarea prin frecarea bastonului de răşină corespunde primirii unui număr de electroni de pe stofa cu care a fost frecat.

Din aceste experienţe rezultă următoarea concluzie: *corpurile încărcate cu electricitate de acelaşi fel se resping, iar cele încărcate cu electricitate de nume diferit se atrag.*

3. Legea lui Coulomb

Se consideră două corpuri punctiforme (de dimensiuni foarte reduse) încărcate cu sarcinile electrice Q_1 şi Q_2 (fig. 1—3).

Experienţa arată că forţa de atracţie sau de respingere între aceste corpuri are direcţia dreptei care uneşte corpurile, iar valoarea ei este dată de relaţia:

$$F = \frac{Q_1 \cdot Q_2}{4\pi \varepsilon r^2}, \qquad (1 \cdot 1)$$

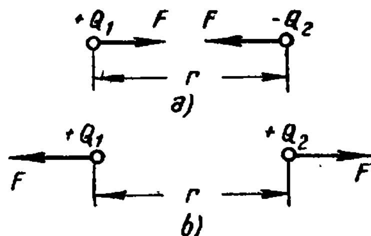


Fig. 1-3. Forţele de atracţie sau de respingere între două corpuri electrizate.

în care:

r este distanţa dintre cele două corpuri, măsurată în metri;

Q_1, Q_2 — sarcinile electrice ale corpurilor, în coulombi;

ε — (literă grecească care se citeşte *epsilon*) o mărime numită *permitivitate* sau *constantă dielectrică* şi care depinde de mediul (aer, apă etc.) în care se găsesc corpurile;

F — forţa, măsurată în newtoni.[1]

---

[1] Se citeşte *niuton*; 1 kilogram-forţă = 9,81 newtoni. Newtonul se notează cu litera N.

Relația (1·1) se numește *legea lui Coulomb* și se poate exprima astfel: *Forța de atracție sau de respingere dintre două corpuri încărcate cu sarcini electrice este direct proporțională cu produsul sarcinilor și invers proporțională cu pătratul distanței dintre corpuri; dacă sarcinile sînt de același fel, forța este de respingere, iar dacă sînt de nume diferit, forța este de atracție.*

Cînd corpurile se găsesc în vid, permitivitatea are valoarea:

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \text{ unități de permitivitate.}$$

Raportul ε_r dintre permitivitatea ε a unui material și permitivitatea ε_0 a vidului se numește *permitivitate relativă* a materialului (tabela 1-1).

Tabela 1-1

Permitivități relative ale unor materiale

Denumirea materialului	$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$	Denumirea materialului	$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$
Aer	1	Mică	4...8
Hîrtie	1,8...2,6	Porțelan	5,5...6
Ulei de transformator	2,3...2,5	Parafină	6
Cauciuc moale	2,6...3,2	Sticlă	7...8
		Apă distilată........	80

Cunoscînd permitivitatea relativă ε_r se poate deduce permitivitatea absolută cu ajutorul relației: $\varepsilon = \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0$.

Aplicația 1-1. În vîrfurile unui pătrat cu latura $l = 3$ m se găsesc corpuri punctiforme încărcate cu următoarele sarcini electrice (fig. 1-4):

$q_1 = +10^{-4}$C $\quad q_3 = +3 \cdot 10^{-4}$C

$q_2 = -2 \cdot 10^{-4}$C $\quad q_4 = -4 \cdot 10^{-4}$C

Să se determine forța care acționează asupra unui corp punctiform situat în aer, în centrul pătratului și încărcat cu sarcina electrică $q = +5 \cdot 10^{-4}C$.

R e z o l v a r e. Cu notațiile din figura 1-4 se poate scrie:

$$l^2 = 2\,r^2,$$

de unde:

$$r^2 = \frac{l^2}{2} = \frac{3^2}{2} = 4{,}5 \text{ m}^2.$$

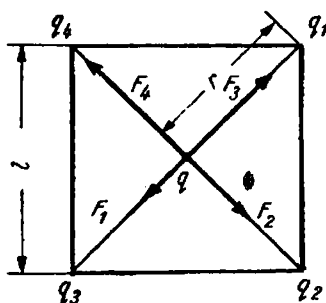


Fig. 1-4. Forțe electrice.

Conform legii lui Coulomb:

$$F_1 = \frac{q \cdot q_1}{\varepsilon_r \varepsilon_0 \, 4\pi r^2} = \frac{5 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{-4}}{\frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} 4\pi \cdot 4{,}5} = 100 \text{ N}.$$

Sarcinile q și q_1 fiind de același semn, F_1 este o forță de respingere.

În mod analog se găsesc, conform figurii:

$$F_2 = 200 \text{ N}; \quad F_3 = 300 \text{ N}; \quad F_4 = 400 \text{ N}.$$

Conform semnelor sarcinilor electrice, F_2 și F_4 sînt forțe de atracție, iar F_3 forță de respingere.

Prin compunerea forțelor F_3 cu F_1 se găsește rezultanta:

$$F_{31} = F_3 - F_1 = 300 - 100 = 200 \text{ N},$$

după direcția și sensul forței F_3, care este mai mare decît F_1.

Prin compunerea forțelor F_4 cu F_2 se găsește rezultanta:

$$F_{42} = F_4 - F_2 = 400 - 200 = 200 \text{ N}$$

după direcția și sensul forței F_4.

Cele două forțe F_{31} și F_{42} sînt perpendiculare între ele, iar rezultanta lor este:

$$F = \sqrt{F_{31}^2 + F_{42}^2} = \sqrt{200^2 + 200^2} = 282{,}8 \text{ N} = 28{,}8 \text{ kgf}.$$

4. Cîmp electric

Forțele care se exercită între corpurile încărcate cu electricitate se transmit de la un corp la celălalt, *din aproape în aproape* cu o viteză foarte mare, egală cu viteza luminii. Un corp încărcat cu electricitate creează în jurul său o stare electrică specială, numită *cîmp electric*, prin intermediul căruia se transmit forțele de interacțiune cu alte corpuri încărcate cu electricitate.

Cîmpul electric se caracterizează în fiecare punct al său printr-o mărime vectorială, numită de obicei tot cîmp electric. Această mărime vectorială are o intensitate (valoare), o direcție și un sens.

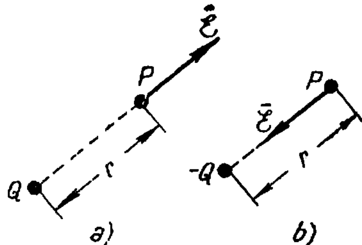


Fig. 1-5. Cîmp electric.

În figura 1—5, *a* se presupune un corp punctiform cu sarcina

electrică $+Q$, iar în figura 1—5, *b*, cu sarcina $-Q$. Se cere să se determine cîmpul electric în punctul P la distanța r de sarcina Q.

Se va presupune că în punctul P se găsește o particulă încărcată cu o mică sarcină *pozitivă* $+q$. Legea lui Coulomb se poate scrie:

$$\overline{F} = \overline{\mathcal{E}.q},$$

unde:

$$\mathcal{E} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon r^2}. \tag{1.2}$$

Se vede că forța $\overline{F}$ care se exercită asupra particulei este proporțională cu mărimea vectorială $\overline{\mathcal{E}}$. *Această mărime vectorială caracterizează tocmai cîmpul electric în punctul P.* Din această cauză, $\mathcal{E}$ se numește *intensitatea cîmpului electric* în P.

Direcția mărimii vectoriale $\overline{\mathcal{E}}$ coincide cu aceea a forței $\overline{F}$, fiind direcția dreptei care unește Q cu P. Sensul mărimii vectoriale $\overline{\mathcal{E}}$ este sensul forței $\overline{F}$ care se exercită asupra particulei încărcate cu sarcina pozitivă $+q$. De aici rezultă că, dacă sarcina Q este pozitivă (fig. 1—5, *a*), sensul vectorului $\overline{\mathcal{E}}$ este *dinspre* sarcina Q, iar dacă sarcina Q este negativă (fig. 1—5, *b*), sensul este *înspre* această sarcină.

În cazul mai multor sarcini electrice, ca de exemplu $+Q_1$ și $-Q_2$ (fig. 1—6), cîmpul electric $\overline{\mathcal{E}}$ într-un punct oarecare P rezultă din compunerea cîmpului electric $\overline{\mathcal{E}}_1$, datorit sarcinii Q_1 cu cîmpul electric $\overline{\mathcal{E}}_2$, datorit sarcinii $-Q_2$. Dacă sînt mai mult decît două sarcini electrice, cîmpul rezultant al primelor două sarcini se compune cu cîmpul electric al sarcinii a treia, rezultanta corespunzătoare celor trei sarcini electrice se compune cu cîmpul electric al sarcinii a patra ș.a.m.d., pînă cînd se obține rezultanta corespunzătoare tuturor sarcinilor.

Fig. 1–6. Cîmp electric rezultant.

Se observă că legea lui Coulomb — relația (1·1)—pentru corpurile electrizate din figura 1–3 se poate scrie și astfel:

$$F = \frac{Q_1\,Q_2}{4\pi\varepsilon\cdot r^2} = \mathcal{E}_1\cdot Q_2 = \mathcal{E}_2\cdot Q_1, \tag{1.3}$$

în care:

$\mathcal{E}_1$ este intensitatea cîmpului electric produs de sarcina Q_1 în punctul unde se găsește sarcina Q_2;
$\mathcal{E}_2$ — intensitatea cîmpului electric produs de sarcina Q_2 în punctul unde se găsește sarcina Q_1.

Rezultă deci următoarea concluzie: *Valoarea forței care se exercită asupra unui corp electrizat situat într-un cîmp electric este egală cu intensitatea cîmpului electric în punctul unde se găsește corpul, multiplicată cu valoarea sarcinii electrice a acelui corp.*

5. Pontențial electric. Diferență de potențial

Se consideră în cîmpul electric al sarcinii $+Q$ o altă sarcină de același semn $+q$ la distanța r (fig. 1—7). Conform legii lui Coulomb, corpul cu sarcina electrică $+q$ va fi respins cu o anumită forță, și anume pînă la o distanță *foarte mare*, sub influența cîmpului electric produs de $+Q$ (teoretic se consideră această distanță infinită). Prin această deplasare pe direcția forței se efectuează un anumit lucru mecanic. Există deci *o anumită energie*, numită *energie electrică potențială*, care permite să se efectueze lucrul respectiv. Dacă se calculează această energie se găsește că ea este egală cu:

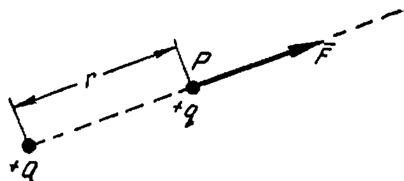


Fig. 1–7. Sarcina electrică $+q$ în cîmpul electric al sarcinii $+Q$.

$$\frac{Q \cdot q}{4\pi \cdot \varepsilon \cdot r} \qquad (1.4)$$

Dacă în loc de sarcina de q coulombi se consideră o sarcină de 1 coulomb, energia potențială este:

$$\frac{Q \cdot 1}{4\pi \cdot \varepsilon \cdot r}$$

Expresia:

$$V = \frac{Q}{4\pi \cdot \varepsilon \cdot r}$$

se numește *potențialul electric* produs de sarcina Q în punctul P la distanța r de Q. Relația (1.4) arată că prin simpla înmulțire a potențialului electric dintr-un punct cu sarcina electrică q din acel punct se poate obține energia electrică potențială respectivă.

Potențialul se măsoară cu o unitate de măsură numită *volt* (V).

În figura 1—8 se consideră o sarcină electrică $+q$ într-un cîmp electric produs de sarcina $+Q$. În punctul P_1 la distanța r_1 de Q, energia electrică potențială este:

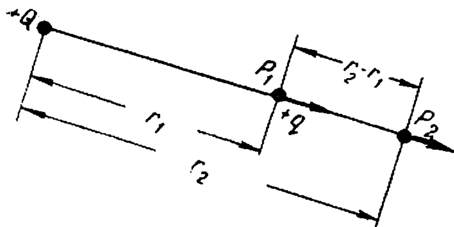


Fig. 1-8. Diferența de potențial electric între punctele P_1 și P_2.

$$W_1 = \frac{Q \cdot q}{4\pi\varepsilon \cdot r_1} = V_1 \cdot q \quad (1.5)$$

în care V_1 este potențialul electric în P_1.

În punctul P_2 la distanța r_2 de Q, energia electrică potențială este:

$$W_2 = \frac{Q\,q}{4\,\pi\,\varepsilon \cdot r_2} = V_2 \cdot q, \quad (1.6)$$

în care V_2 este potențialul electric în P_2.

Deoarece W_1 este lucrul mecanic care se obține la deplasarea sarcinii q din P_1 la infinit, iar W_2 este lucrul mecanic care se obține la deplasarea sarcinii q din P_2 la infinit, înseamnă că $W_1 - W_2$ va fi lucrul mecanic care se obține la deplasarea sarcinii între punctele P_1 și P_2. Ținînd seama de relațiile (1.5) și (1.6) se poate scrie:

$$W_1 - W_2 = V_1 \cdot q - V_2 \cdot q = (V_1 - V_2)\,q. \quad (1.7)$$

Expresia:

$$U = V_1 - V_2$$

se numește *diferența de potențial* sau *tensiunea electrică* între punctele P_1 și P_2. Din relația (1—7) se obține:

$$W_1 - W_2 = U \cdot q \quad (1.8)$$

ceea ce arată că diferența dintre energiile potențiale W_1 și W_2, care se transformă în lucru mecanic prin deplasarea sarcinii q între cele două puncte P_1 și P_2, este egală cu diferența de potențial U dintre cele două puncte multiplicată cu valoarea sarcinii q.

Dacă între două puncte P_1 și P_2 (fig. 1—8) dintr-un cîmp electric între care există diferența de potențial $V_1 - V_2$ se așază un corp electrizat, acest corp se va găsi sub acțiunea unei forțe care-l va deplasa, și anume: cînd corpul este electrizat pozitiv (ca în fig. 1—8), deplasarea se va face dinspre punctul cu potențialul mai mare (V_1 în P_1) înspre punctul cu potențialul mai mic (V_2 în P_2); dacă corpul este electrizat negativ, deplasarea se va face în sens contrar.

Notînd distanța dintre cele două puncte cu d, se poate demonstra pe baza formulelor anterioare, că intensitatea medie a cîmpului electric pe distanța d este dată de relația:

$$\mathcal{E} = \frac{U}{d}.$$

Unitatea de măsură a diferenței de potențial este tot voltul, ca și unitatea potențialului. Unitatea de măsură pentru intensitatea cîmpului electric este egală cu unitatea de măsură a diferenței de potențial, împărțită prin unitatea de măsură a lungimii, adică volt pe metru (V/m).

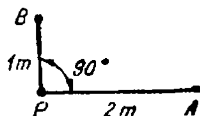


Fig. 1–9. Aflarea diferenței de potențial.

Aplicația 1-2. În punctul P (fig. 1-9) se găsește un corp punctiform încărcat cu sarcina electrică $q = 2 \cdot 10^{-8}$ coulombi.

Să se determine diferența de potențial $V_B - V_A$ între punctele B și A arătate pe figură, precum și intensitatea cîmpului electric în B și A. Mediul înconjurător este aerul.

Rezolvare. Potențialul în punctul A este:

$$V_A = \frac{q}{4\pi\, \varepsilon_r\, \varepsilon_0 \cdot PA} = \frac{2 \cdot 10^{-8}}{4\pi \dfrac{1}{4\pi \cdot 1 \cdot 9 \cdot 10^9} \cdot 2} = 90 \text{ V}.$$

În mod analog, potențialul în punctul B este:

$$V_B = \frac{2 \cdot 10^{-8}}{4\pi \dfrac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \cdot 1} = 180 \text{ V}.$$

Diferența de potențial dintre punctele B și A este:

$$V_B - V_A = 180 - 90 = 90 \text{ V}.$$

Intensitatea cîmpului electric în A este:

$$\mathscr{E}_A = \frac{q}{4\pi \varepsilon_r \varepsilon_0 \cdot \overline{PA}^2} = \frac{2 \cdot 10^{-8}}{4\pi \dfrac{1}{4\pi \cdot 1 \cdot 9 \cdot 10^9}} = 45 \text{ V/}$$

În mod analog, se găsește:

$$\mathscr{E}_B = 180 \text{ V/m}.$$

6. Linii de forță și suprafețe echipotențiale

Dacă pentru fiecare punct dintr-un cîmp electric s-ar trasa vectorul corespunzător punctului respectiv, s-ar constata că acest vector rămîne tangent la niște curbe numite *linii de forță* ale cîmpului electric. În figura 1—10, curba C reprezintă o asemenea linie de forță. Liniile de forță au sensul cîmpului electric.

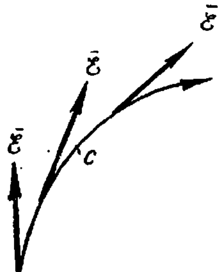
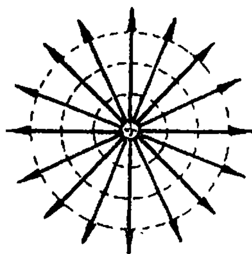
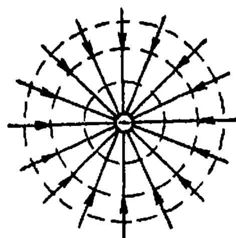


Fig. 1-10. Linie de forță.

În figura 1—11 sînt reprezentate în trăsături pline liniile de forță ale cîmpului unei sarcini pozitive, iar în figura 1—12, acelea ale unei sarcini negative.

Suprafețele față de care liniile de forță sînt perpendiculare au toate punctele lor la același potențial și, din această cauză, se numesc *suprafețe echipotențiale* (adică de același potențial). Pentru o sarcină punctiformă, suprafețele echipotențiale sînt sfere cu centrul în punctul unde se găsește sarcina electrică (fig. 1—11 și 1—12).


Fig. 1—11. Liniile de forță și suprafețele echipotențiale ale unei sarcini pozitive.


Fig. 1-12. Liniile de forță și suprafețele echipotențiale ale unei sarcini negative.

În cazul a două sarcini de nume diferit, liniile de forță se prezintă ca în figura 1—13, iar în cazul a două sarcini pozitive, ca în figura 1—14.

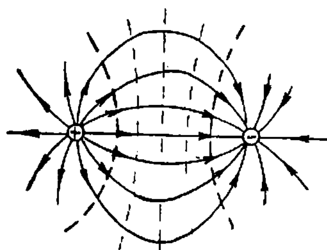


Fig. 1-13. Liniile de forță și suprafețele echipotențiale pentru două sarcini electrice de nume diferit.

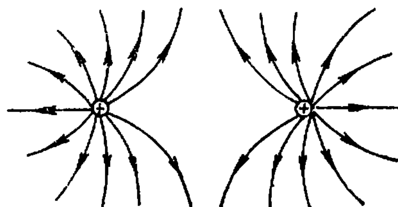


Fig. 1-14. Liniile de forță pentru două sarcini electrice de același fel.

Liniile de forță pot da și o indicație asupra intensității cîmpului electric: *cu cît liniile de forță sînt mai dese cu atît intensitatea cîmpului electric este mai mare și invers.*

7. Corpuri conductoare, izolante și semiconductoare

Unele corpuri neutre din punct de vedere electric conțin *electroni liberi* (adică sarcini libere negative), nefixați în atomi și care au continuu o mișcare dezordonată, ca și moleculele unui gaz. Aceste sarcini negative libere sînt neutralizate de un număr corespunzător de sarcini pozitive, adică de particule atomice avînd fiecare un nucleu pozitiv și electroni cu o sarcină totală negativă *mai mică* decît sarcina pozitivă a nucleului. Dacă între două puncte ale unui asemenea corp (un fir metalic de exemplu) se realizează o diferență de potențial și deci apare un cîmp electric, electronii liberi sînt împinși într-o mișcare generală după direcția cîmpului electric. Asemenea corpuri se numesc *bune conducătoare de electricitate* sau *conductoare.*

La alte corpuri, numite *rele conducătoare de electricitate, dielectrice* sau *izolante,* nu există astfel de electroni liberi, care să poată fi puși în mișcare de o diferență de potențial.

Metalele și unele lichide sînt conductoare. Pămîntul este de asemenea un conductor. Sticla, porțelanul, cauciucul, lemnul uscat, gazele ș.a. sînt izolante.

Există şi corpuri solide numite *semiconductoare*, care au proprietăţi conductoare sau izolante, numai în anumite condiţii (ca de exemplu seleniul, germaniul, siliciul).

8. Diferite feluri de electrizări. Inducţie electrică

Aparatul cu care se poate constata electrizarea unui corp se numeşte *electroscop* (fig. 1–15). El este constituit din vasul de sticlă *S* cu dopul izolant *D*, prin care trece vergeaua metalică *V* terminată în interior prin foiţele *F* şi în exterior, prin sfera *B*.

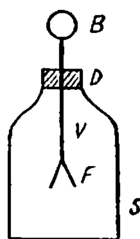


Fig. 1–15. Electroscop.

Foiţele şi sfera sînt de asemenea metalice. Dacă sfera *B* este electrizată cu un anumit fel de electricitate, sarcinile electrice, răspîndindu-se, ajung la foiţe şi exercită între ele forţe de respingere, care îndepărtează aceste foiţe, după cum se poate vedea în figură. Sfera *B* poate fi electrizată atingînd-o cu un alt corp electrizat. În felul acesta, sfera se electrizează *prin contact*, adică într-un mod diferit de cel de electrizare *prin frecare*, descris la paragraful 1–1.

Se presupune că sfera *B* a fost electrizată prin contact cu electricitate pozitivă, de exemplu. Aceasta înseamnă că un anumit număr de electroni *liberi* de pe partea conductoare a electroscopului (sferă, vergea şi foiţe) a trecut pe corpul cu care a fost pusă în contact sfera.

Dacă se leagă sfera printr-un fir metalic cu pămîntul, un număr de electroni liberi trec de la pămînt prin fir şi completează lipsa de electroni de pe conductorul electroscopului. Acesta, devenind neutru din punct de vedere electric, foiţele se apropie una de alta.

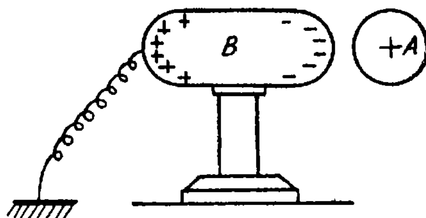


Fig. 1–16. Electrizare prin influenţă.

Se consideră, în figura 1–16, o sferă *A* încărcată, de exemplu, pozitiv, care se apropie de conductorul neutru *B* aşezat pe un suport izolant. Sarcinile libere negative (electronii liberi) din conductorul *B* se dirijează spre extremitatea din apropierea sferei *A*, fiind atrase de sarcinile pozitive ale acesteia, iar sarcinile

pozitive din conductorul B rămîn în extremitatea opusă. Dacă această din urmă extremitate se leagă la pămînt printr-un fir conductor, un număr de electroni liberi din pămînt sînt atraşi prin fir de conductorul B. Întrerupînd legătura la pămînt şi îndepărtînd sfera A, corpul B rămîne încărcat negativ. Electrizarea în modul arătat a corpului B se numeşte electrizare *prin influenţă* sau prin *inducţie electrică*.

9. Densitate electrică. Paratrăsnet

Un conductor electrizat nu poate conţine, *în interiorul său* sarcini electrice de acelaşi semn, libere. În adevăr, dacă ar exista asemenea sarcini, ele s-ar respinge pînă cînd ar ajunge la suprafaţa conductorului. (Dacă sarcinile ar fi de semne contrare, ele s-ar neutraliza.) În consecinţă, un conductor electrizat are sarcini electrice numai *la suprafaţa sa*. La corpurile cu suprafaţa neregulată, aceste sarcini nu se repartizează uniform pe supra-

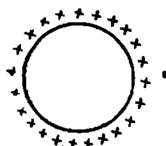


Fig. 1-17. Sferă conductoare electrizată pozitiv.



Fig. 1-18. Conductor în formă de pară, electrizat negativ.

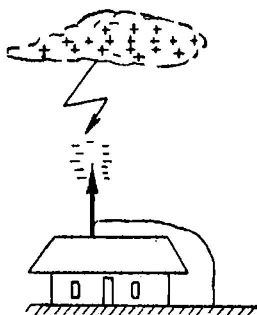


Fig. 1-19. Paratrăsnet.

faţa conductorului (cu aceeaşi *densitate electrică*). Acolo unde corpul prezintă vîrfuri, sarcinile electrice se îndesesc (densitatea electrică mare) şi uneori sînt chiar *expulzate* din corp; la o sferă însă, repartiţia este uniformă (fig. 1—17). La un corp, avînd forma unei pere (fig. 1—18), sarcinile se îndesesc spre vîrf cu atît mai mult, cu cît vîrful este mai ascuţit. Pe această proprietate se bazează funcţionarea paratrăsnetului, care este o vergea metalică, cu vîrf ascuţit, aşezată pe acoperişul unei construcţii şi legată printr-un conductor la pămînt (fig. 1—19).

Cînd un nor încărcat, de exemplu, pozitiv se apropie de regiunea paratrăsnetului, acesta lasă să se scurgă prin vîrful său sarcini negative (electrizare prin influenţă), care neutralizează

sarcinile pozitive din nor. Prin conductorul legat la pămînt trec, de la pămînt la paratrăsnet, sarcini negative în mare număr pentru neutralizarea sarcinilor pozitive din nor. Trecerea bruscă și în mare cantitate a sarcinilor electrice de la nor la pămînt sau invers se numește *trăsnet*; în lipsa paratrăsnetului, sarcinile electrice trec de obicei între nor și obiectele mai înalte (case, turnuri, arbori). Alteori, sarcinile pozitive dintr-un nor sînt atrase de sarcinile negative din alt nor, iar neutralizarea bruscă a unor mari cantități de asemenea sarcini se manifestă printr-un *fulger* între cei doi nori. Apariția trăsnetului și a fulgerului este însoțită de o lumină și un zgomot caracteristic (tunet).

10. Fenomene electrostatice și electrocinetice

În figura 1—20, prin A și B s-au reprezentat două plăci metalice la distanța d, una încărcată cu sarcina pozitivă $+Q$, iar cealaltă cu sarcina negativă $-Q$. Placa B are un surplus de electroni, iar placa A, o lipsă de electroni față de starea neutră. În jurul plăcilor se creează un cîmp electric. Dacă cele două plăci se leagă între ele, ca în figură, printr-un fir conductor C, surplusul de electroni de pe placa B (la potențialul V_B) se va deplasa sub influența forțelor electrice, prin conductorul C, la placa A (cu potențialul V_A) unde va completa lipsa de electroni.

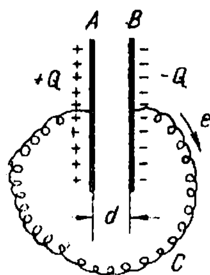


Fig. 1-20. Circulația electronilor printr-un conductor.

După ce surplusul de electroni de pe placa B a completat lipsurile de pe placa A (amîndouă plăcile s-au neutralizat), diferența dintre potențialele V_A și V_B s-a anulat, circulația de electroni în conductorul C a încetat, iar cîmpul electric a dispărut.

Dacă ar exista un dispozitiv care să mențină permanent surplusul de electroni pe placa B și lipsa de electroni pe placa A, între aceste plăci ar exista mereu o diferență de potențial $V_A - V_B$, iar electronii vor circula în permanență în sensul săgeții e din figură. Dispozitivele care au proprietatea de a crea permanent o diferență de potențial între bornele (extremitățile) lor se numesc *surse electrice*, iar circulația continuă a electronilor printr-un conductor care leagă aceste borne constituie un *curent electric*. Curentul electric și sursele pentru producerea lui vor fi studiate în alte capitole.

Fenomenele în care electronii, sub influenţa unui cîmp electric, au o mişcare permanentă într-un conductor se numesc *fenomene electrocinetice*, adică de *mişcare a electricităţii*. (Pe greceşte, *kinematos* înseamnă mişcare.) În afară de fenomenele electrocinetice, există fenomene *electrostatice*, cînd electronii *stau* în nemişcare, în echilibru, sau au mişcări limitate, după care revin în echilibru. Plăcile *A* şi *B* din figura 1—20, încărcate cu sarcinile $+Q$ şi $-Q$, nelegate prin conductorul *C*, produc un cîmp electric, dar electronii rămîn nemişcaţi. Acesta constituie un exemplu de *fenomen electrostatic*. Cu fenomenele electrostatice se ocupă *electrostatica*, o parte din ştiinţa electricităţii.

11. Condensatorul electric

Condensatorul electric este un aparat format din două corpuri conductoare (armături) separate printr-un izolant (dielectric) (fig. 1—21) şi funcţionează pe baza celor arătate la paragraful 10 (fig. 1—20).

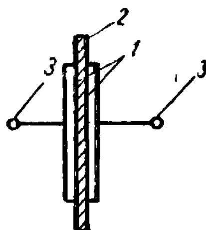


Fig. 1-21. Condensator electric:
1 — armături; 2 — dielectric; *3* — borne.

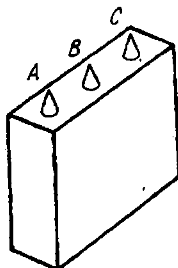


Fig. 1-22. Condensator electric industrial (trifazat), vedere.

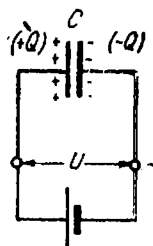


Fig. 1-23. Încărcarea unui condensator electric.

În practică, armăturile condensatorului sînt executate din cîte o fişie de staniol; ca izolant se foloseşte hîrtie impregnată cu ulei. Ansamblul lor este împăturit, pentru a ocupa un spaţiu cît mai mic şi apoi este închis într-o cutie metalică prevăzută cu borne de ieşire.

Legînd un condensator la o sursă de energie electrică de curent continuu [1] (fig. 1—23), armăturile condensatorului se încarcă

[1] Sursele de curent continuu sînt explicate în capitolul II.

fiecare cu cantitatea de electricitate Q (pozitivă pe o armătură şi negativă pe cealaltă). Prin circuit trece un curent electric numai atît timp cît durează încărcarea armăturilor. După încărcarea acestora, deşi condensatorul rămîne legat la sursă, prin circuit nu mai trece nici un curent.

Dezlegîndu-l de la sursă, condensatorul rămîne încărcat. Dacă se leagă bornele printr-un conductor, condensatorul se descarcă; prin conductor trece un curent electric format de deplasarea sarcinilor Q negative de pe armătura negativă spre armătura pozitivă, unde neutralizează sarcina pozitivă.

Între tensiunea U de la bornele armăturilor şi sarcina Q de pe armături există relaţia:

$$Q = CU \tag{1.9}$$

în care C este o mărime fizică numită *capacitatea electrică* a condensatorului (să nu se confunde cu capacitatea pilelor şi a acumulatoarelor). Ea depinde numai de dimensiunile armăturilor, de distanţa dintre ele şi de natura dielectricului. Capacitatea unui condensator plan (format de două armături plane paralele, între care dielectricul are o grosime constantă) se calculează folosind relaţia:

$$C = \frac{\varepsilon S}{d} \tag{1.10}$$

în care, în sistemul MKSA:

C este capacitatea, în F (farazi);
ε — permitivitatea dielectricului;
S — suprafaţa uneia dintre armături, în m²;
d — distanţa dintre armături (grosimea dielectricului), în m.

În cîmpul electric care ia naştere între armăturile condensatorului la încărcarea acestuia este înmagazinată o cantitate de energie, absorbită de la sursă:

$$W = \frac{1}{2} CU^2 = \frac{1}{2} QU = \frac{1}{2} \cdot \frac{Q^2}{C}. \tag{1.11}$$

Această energie reapare în circuitul electric la descărcarea condensatorului.

12. Legarea condensatoarelor electrice

Condensatoarele electrice pot fi legate în serie, în derivaţie sau mixt, alcătuind baterii de condensatoare.

Condensatoare în serie (fig. 1—24). Capacitatea echivalentă C a unei baterii formate din condensatoarele $C_1, C_2, \ldots, C_n$, legate în serie se calculează din relaţia:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \ldots + \frac{1}{C_n} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{C_i}. \qquad (1.12)$$

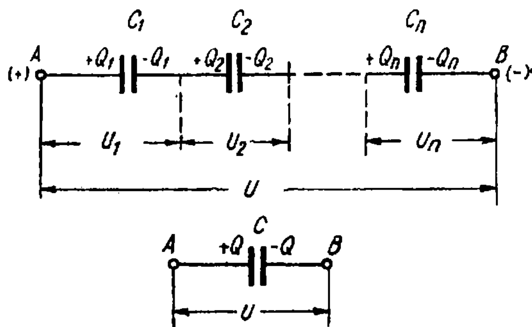


Fig. 1-24. Condensatoare legate în serie.

Relaţia 1.12 se deduce plecînd de la relaţia dintre diferenţele de potenţial (tensiunile electrice):

$$U = U_1 + U_2 + \quad + U_n. \qquad (a)$$

Se observă apoi că la legarea în serie a condensatoarelor

$$Q_1 = Q_2 = \ldots = Q_n = Q. \qquad (b)$$

Cum:

$$U = \frac{Q}{C}; \quad U_1 = \frac{Q_1}{C_1};$$

$$U_2 = \frac{Q_2}{C_2}; \qquad U_n = \frac{Q_n}{C_n}, \qquad (c)$$

rezultă:

$$\frac{Q}{C} = \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2} + \ldots + \frac{Q_n}{C_n}. \qquad (d)$$

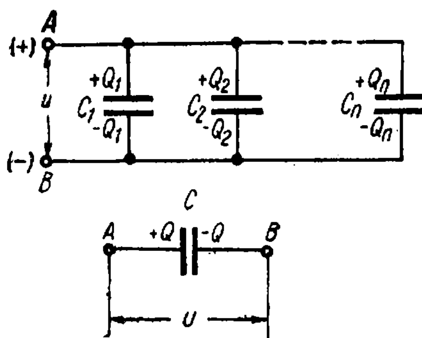


Fig. 1-25. Condensatoare legate în derivaţie.

Din relaţiile (b) şi (d) rezultă relaţia (1.12).

Condesatoare în derivaţie (fig. 1—25). Capacitatea echivalentă C a unei baterii for-

mate din condensatoarele C_1, C_2, ..., C_n, legate în derivație, se calculează cu ajutorul relației:

$$C = C_1 + C_2 + \quad + C_n$$

sau:

$$C = \sum_{i=1}^{i=n} C_i. \tag{1.13}$$

În cazul condensatoarelor legate în derivație, se observă că sarcina electrică a bateriei este:

$$Q = Q_1 + Q_2 + \quad + Q_n. \tag{a}$$

Cum:

$$Q = CU; \; Q_1 = C_1 U_1; \; Q_2 = C_2 U_2; \; \ldots; \; Q_n = C_n U_n \tag{b}$$

iar:

$$U = U_1 = U_2 = \quad = U_n \tag{c}$$

rezultă ușor relația (1.13).

Condensatoarele pot fi legate și mixt, adică în combinație de legături serie și derivație; în acest caz, capacitatea bateriei se determină din aproape în aproape.

13. Străpungerea dielectricului. Rigiditate dielectrică

Dacă diferența de potențial aplicată la bornele unui condensator crește mereu, se produce la un moment dat o străpungere a dielectricului (trecerea bruscă a sarcinilor electrice de pe o armătură pe cealaltă, prin dielectric), în urma căreia dielectricul se deteriorează de obicei. Străpungerea dielectricului depinde nu numai de valoarea diferenței de potențial, dar și de grosimea dielectricului. Cu cît grosimea dielectricului este mai mică, cu atît el poate fi străpuns la o diferență de potențial mai redusă. Valoarea cea mai mică a raportului dintre diferența de potențial și grosimea la care poate fi străpuns dielectricul se numește *rigiditate dielectrică*. Altfel spus, rigiditatea dielectrică este valoarea minimă a cîmpului electric la care poate fi străpuns un dielectric.

Dacă se măsoară diferența de potențial în volți, și grosimea dielectricului in metri, rigiditatea dielectrică se va măsura în

volţi pe metru (V/m). În practică, este mai comod însă să se măsoare în mii de volţi pe centimetru (kV/cm). În tabela 1-2 se dă valoarea rigidităţii dielectrice pentru unele materiale.

Tabela 1–2

Rigiditatea dielectrică a citorva materiale

Materialul	Rigiditatea dielectrică, în kV/cm	Materialul	Rigiditatea dielectrică, în kV/cm
Aer	32	Sticlă	70—300
Petrol	65	Hîrtie impregnată	400—1000
Hîrtie	40—100	Mică	600—750

14. Condensatoare industriale şi fabricarea lor

Condensatoarele îşi găsesc întrebuinţare în instalaţiile de telefonie, telegrafie, radio, televiziune, pentru ameliorarea factorului de putere în cazul reţelelor de curent alternativ (după cum se va explica la capitolele VII şi XX) etc. Din punct de vedere constructiv, condensatoarele sînt de mai multe tipuri. De multe ori, dielectricul este realizat din hîrtie parafinată sau din foiţă de mică. Pentru mărirea capacităţii se montează de obicei la un loc mai multe condensatoare în paralel. În figura 1—26 se arată aspectul unui condensator cu armături din staniol şi dielectric din mică, avînd o capacitate de 200 pF (picofarazi)[1].

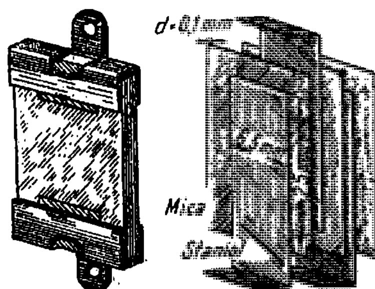


Fig. 1–26. Condensator cu armături din staniol şi dielectric din mică.

În figura 1—27 este reprezentat un condensator de asemenea cu armături din staniol, dar cu dielectric din hîrtie parafinată, avînd o capacitate de 2 μF.

Figura 1—28 reprezintă un condensator cu capacitate variabilă, constituit dintr-o serie de plăci metalice mobile, care prin rotire

[1] 1 pF = 10^{-9} F.

pătrund între alte plăci tot metalice, dar fixe. Dielectricul acestui condensator este aerul. Plăcile constituie armăturile și sînt fabricate din aluminiu sau din cupru. Pe măsură ce plăcile mobile se introduc între plăcile fixe, capacitatea crește, deoarece se

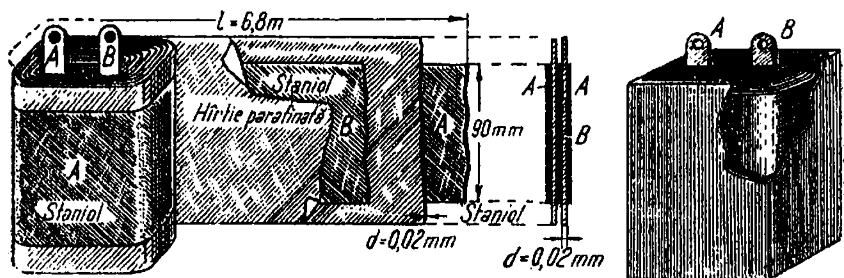


Fig. 1-27. Condensator cu armături din staniol și dielectric din hîrtie parafinată.

mărește suprafața armăturilor, care se găsesc față în față.

În R.P.R. se fabrică diverse tipuri de condensatoare, și anume: de 150 V și 0,5—5 μF cu armături din aluminiu și dielectric din hîrtie parafinată, pentru instalațiile telefonice; de 1 000 V cu capacități de la cîteva sute pînă la cîteva mii de picofarazi, tot cu armături din aluminiu și dielectric din hîrtie parafinată, pentru instalațiile de radio și de 380 V de 3 × 110 μF în ulei, pentru ameliorarea factorului de putere în rețelele de curent alternativ trifazat[1].

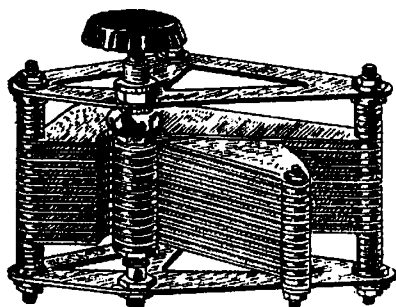


Fig. 1-28. Condensator cu capacitate variabilă.

[1] Circuitele de curenți alternativi trifazați sînt studiate în capitolul VIII.

Capitolul II

Circuite de curent continuu

1. Curentul electric

Într-un conductor există electroni liberi în mişcare dezordonată. În mod normal, în orice moment, numărul de electroni (cantitatea de electricitate) care trec printr-o secţiune transversală a conductorului într-un sens este egal cu al celor care trec în sens contrar, sau, cu alte cuvinte, cantitatea de electricitate care trece printr-o secţiune a conductorului este în medie egală cu zero.

Dacă, prin intermediul unei cauze oarecare dinafară, se imprimă sarcinilor electrice o deplasare într-un sens, printr-o secţiune a conductorului va trece o anumită cantitate de electricitate sau prin conductor va lua naştere *un curent electric.* Curentul electric este caracterizat prin *intensitatea* şi prin *sensul* său.

Intensitatea curentului electric sau, pe scurt, *curentul electric I* este cantitatea de electricitate care trece printr-o secţiune transversală a conductorului în unitatea de timp, adică

$$I = \frac{Q}{t}, \tag{2.1}$$

în care Q este cantitatea de electricitate, iar t timpul. În sistemul MKSA, I se măsoară în amperi (A), Q în coulombi (C), iar t — în secunde (s).

Sensul de circulaţie al curentului sau, pe scurt, *sensul curentului, este ales, în mod convenţional, opus sensului în care se deplasează electronii prin conductor*; în consecinţă, în circuitul exterior al unei surse de energie se consideră că sensul curentului este *de la polul pozitiv spre polul negativ al sursei.*

Curentul electric poate fi *continuu* (cînd are mereu acelaşi sens), sau *alternativ* (cînd îşi schimbă periodic sensul de circulaţie).

Curentul electric se măsoară în practică cu ajutorul aparatului numit *ampermetru.*

Densitatea de curent δ este raportul dintre curentul I şi secţiunea s a conductorului prin care trece curentul.

$$\delta = \frac{I}{s}. \qquad (2.2)$$

În sistemul MKSA, densitatea de curent se măsoară în A/m^2. În mod curent ea se măsoară însă în A/mm^2.

Densitatea de curent nu se poate măsura cu aparate, ea se determină prin calcul, folosind relaţia (2.2).

2. Forţa electromotoare

Forţa electromotoare este mărimea fizică capabilă să producă şi să menţină un curent electric într-un circuit închis, creînd o tensiune electrică (o diferenţă de potenţial electric) între două puncte oarecare ale circuitului.

Forţa electromotoare este produsă de o sursă sau generator de energie electrică. Ea se notează de obicei cu litera E.

În sistemul MKSA, forţa electromotoare se măsoară în volţi (V).

3. Rezistenţa electrică

Dacă la bornele unei surse de energie electrică se leagă un conductor, formînd astfel un circuit electric închis, prin întregul circuit, deci şi prin conductor, va trece un curent mai mare sau mai mic, după cum conductorul se opune mai puţin sau mai mult trecerii curentului. Această proprietate a conductorilor de a se opune mai mult sau mai puţin la trecerea curentului electric este caracterizată prin mărimea denumită *rezistenţa electrică a conductorului*.

Rezistenţa electrică R a unui conductor de lungime l cu secţiunea constantă s, se calculează folosind relaţia:

$$R = \rho \frac{l}{s}, \qquad (2.3)$$

în care ρ este o mărime caracteristică a materialului din care este construit conductorul, denumită *rezistivitate* (tabela 2-1).

Tabela 2-1

Valoarea rezistivității și a coeficienților de variație a rezistivității cu temperatura pentru diferite materiale uzuale, la 20°C

Denumirea materialului	ρ_{20} mm²/m	α_{20} grd⁻¹
Aluminiu	0,029	0,0040
Argint	0,0165	0,0036
Cupru	0,01724	0,00393
Constantan	0,4...0,51	0,000005
Crom-nichel	1	0,0003
Manganină	0,42	0,00001
Nichelină	0,4...0,44	0,00018... ...0,00021
Oțel	0,24...1,1	0,0052
Zinc	0,063	0,0037

În sistemul MKSA se măsoară: R — în ohmi (Ω); l — în metri (m); s — în metri pătrați (m²); ρ — în $\frac{\text{ohm} \cdot \text{metru}}{\text{metru pătrat}}$ $\left(\frac{\Omega m}{m^2}\right)$

De obicei, în practică, pentru calculul rezistențelor se folosesc următoarele unități de măsură (care nu aparțin aceluiași sistem): R — în Ω; l — în m; s — în mm²; ρ — în $\frac{\Omega mm^2}{m}$.

Rezistivitatea și, prin urmare, rezistența unui conductor variază cu temperatura. În general, rezistența unui conductor crește cu temperatura.

Rezistivitatea ρ_{t2} la temperatura t_2, în funcție de rezistivitatea ρ_{t1} la temperatura t_1, este dată de relația:

$$\rho_{t2} = \rho_{t1}\,[1 + \alpha(t_2 - t_1)], \qquad (2.4)$$

în care α este coeficientul de variație a rezistivității cu temperatura (tabela 2-1).

Rezistența R_{t_2} la temperatura t_2 se determină printr-o relație asemănătoare:

$$R_{t2} = R_{t_1}\,[1 + \alpha\,(t_2 - t_1)]. \qquad (2.5)$$

În realitate, variația rezistivității și rezistenței cu temperatura este mai complicată decît apare din relațiile (2.4) și (2.5),

deoarece şi α depinde de temperatură. De aceea, relaţiile de mai sus sînt practic aplicabile pentru temperaturi cuprinse între 20°C şi 100°C; pentru α se ia de obicei valoarea corespunzătoare la 20°C.

În unele cazuri, cum este cărbunele şi cum sînt anumiţi electroliţi, rezistenţa scade pe măsură ce temperatura creşte (coeficientul α este negativ).

Inversul rezistenţei unui conductor se numeşte *conductanţa* G a conductorului:

$$G = \frac{1}{R} = \frac{1}{\rho}\frac{s}{l} = \gamma\frac{s}{l}, \qquad (2.6)$$

în care $\gamma = \frac{1}{\rho}$ este *conductivitatea* materialului din care este făcut conductorul. În sistemul MKSA conductanţa se măsoară în *siemens* (S).

Aplicaţie. Să se calculeze rezistenţa unui conductor de cupru cu o secţiune de 16 mm² al unei linii electrice lungi de 500 m.

Rezolvare. Se foloseşte formula (2·3) în care l = 500 m; s = 16 mm²

$$\rho = 0{,}0175\,\frac{\Omega\ \text{mm}^2}{\text{m}}.$$

Deci:

$$R = \rho\frac{l}{s} = 0{,}0175\,\frac{500}{16} = 0{,}548\,\Omega.$$

4. Legea lui Ohm

Curentul I care trece printr-un circuit închis format dintr-o sursă de energie electrică, cu o forţă electromotoare E şi o rezistenţă interioară r, şi dintr-o rezistenţă R legată la bornele a şi b ale sursei[1] (fig. 2-1) se calculează cu ajutorul relaţiei:

$$I = \frac{E}{R + r}. \qquad (2.7)$$

[1] Acest circuit este denumit circuit simplu.

În sistemul MKSA: I se măsoară în A; E — în V; R — în Ω; r — în Ω.

Curentul electric I care trece printr-o rezistență R la capetele căreia se aplică o tensiune electrică (o diferență de potențial) U (fig. 2—2) se calculează folosind relația:

$$I = \frac{U}{R}. \tag{2.8}$$

În sistemul MKSA I se măsoară în A; U — în V; R — în Ω.

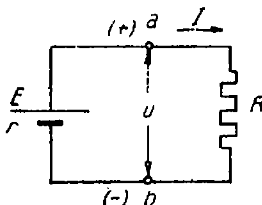


Fig. 2-1. Circuit electric simplu.

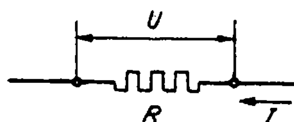


Fig. 2-2. Căderea de tensiune într-o rezistență.

Produsul RI este căderea de tensiune produsă de trecerea curentului I prin rezistența R. Căderea de tensiune într-o rezistență este egală cu tensiunea aplicată la capetele ei:

$$U = RI. \tag{2.9}$$

Ținîndu-se seama de relațiile de mai sus, se deduce tensiunea U la bornele unei surse de energie electrică, cînd ea debitează curentul I, și anume:

$$U = RI = E - rI, \tag{2.10}$$

adică, tensiunea la bornele unei surse este egală cu căderea de tensiune pe circuitul exterior al sursei, sau cu forța electromotoare din care se scade căderea de tensiune din interiorul sursei.

Aplicație. Un acumulator electric avînd o forță electromotoare $E = 2$V și o rezistență interioară $r = 0{,}15$ Ω, alimentează cu energie electrică un circuit cu o rezistență $R = 1{,}1$ Ω. Să se determine curentul care trece prin circuit și tensiunea la bornele circuitului.

R e z o l v a r e. Curentul care trece prin circuit este:

$$I = \frac{E}{R + r} = \frac{2}{1{,}1 + 0{,}15} = 1{,}6 \text{ A}.$$

Tensiunea la bornele circuitului, aceeaşi cu tensiunea la bornele acumulatorului, se poate calcula în două moduri:

a) $U = RI = 1,1 \cdot 1,6 = 1,76$ V;
b) $U = E - rI = 2 - 0,15 \cdot 1,6 = 1,76$ V.

5. Legile lui Kirchhoff

De multe ori, circuitele electrice sînt mai complicate, conţinînd una sau mai multe surse de energie electrică şi mai multe rezistenţe, legate în diferite moduri, alcătuind reţele electrice. Punctele în care se întîlnesc cel puţin trei căi de curent (rezistenţe) se numesc noduri ale reţelei. Căile de curent între diferitele noduri se numesc laturile reţelei. Mărimile care intervin într-o reţea electrică sînt: forţele electromotoare, rezistenţele diferitelor laturi şi curenţii prin aceste laturi.

Legea I. *Suma curenţilor care intră într-un nod este egală cu suma curenţilor care ies din acel nod.* De exemplu, pentru nodul *A* (fig. 2—4) se poate scrie:

$$I_1 = I_2 + I. \quad (2.11)$$

Legea II. *Pe orice circuit închis al unei reţele electrice suma forţelor electromotoare este egală cu suma căderilor de tensiune.*

$$\sum E = \sum RI. \quad (2.12)$$

Pentru a aplica această lege se alege un sens oarecare de parcurgere a circuitului şi se respectă următoarea convenţie:

— se consideră pozitive forţele electromotoare al căror sens, conform polarităţii lor (de la — la +), este în sensul parcurgerii circuitului (fig. 2—3,*a*);

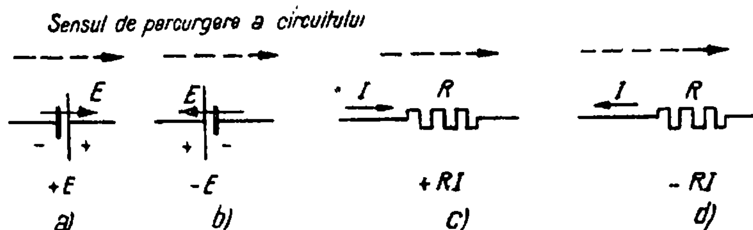


Fig. 2–3. Convenţia de semne folosite la aplicarea legii a II-a a lui Kirchhoff: *a* — forţă electromotoare pozitivă; *b* — forţă electromotoare negativă; *c* — cădere de tensiune pozitivă; *d* — cădere de tensiune negativă.

— se consideră pozitive căderile de tensiune produse de curenţii care trec prin rezistenţe în acelaşi sens cu sensul de parcurgere al circuitului (fig. 2—3,*c*);

— în cazurile contrare, forţele electromotoare, respectiv căderile de tensiune, se consideră negative (fig. 2—3, *b* şi 2—3,*d*). De exemplu, pentru circuitul *ABCD* din figura 2-4, parcurgîndu-l în sensul *ABCDA* (arătat de săgeata punctată) se poate scrie:

$$-E_2 + E_1 = R_1I_1 + R_2I_2.$$

Legile lui Kirchhoff servesc la calcularea reţelelor electrice, şi anume, cunoscîndu-se o parte din mărimile care intervin într-o reţea, ele permit să se determine celelalte mărimi necunoscute. Pentru aceasta, numărul necunoscutelor trebuie să nu depăşească numărul ecuaţiilor independente care pot fi scrise cu legile lui Kirchhoff.

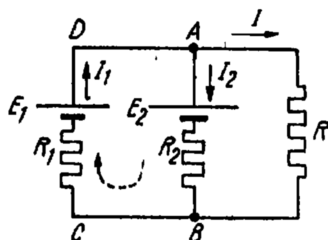


Fig. 2-4. Reţea electrică

Notîndu-se cu *n* numărul de noduri şi cu *l* numărul de laturi dintr-o reţea, se pot scrie:

— cu legea I : $n - 1$ ecuaţii independente (scrise pentru nodurile distincte);

— cu legea a II-a: $l - n + 1$ ecuaţii independente (scrise pentru circuite închise distincte).

În total se pot deci scrie *l* ecuaţii distincte şi se pot determina *l* necunoscute. În cazul cînd nu se cunosc curenţii, deci nici sensurile lor, se aleg la început sensuri arbitrare; după rezolvarea sistemului de ecuaţii, dacă pentru vreunul din curenţi se obţine o valoare negativă, sensul real al lui va fi contrar celui ales iniţial.

6. Legarea rezistenţelor

Rezistenţele electrice pot fi legate (conectate) în serie, în derivaţie (paralel) şi mixt.

a) *Rezistenţe în serie* (fig. 2—5). Căderea de tensiune totală în cele *n* rezistenţe legate în serie este egală cu suma căderilor

de tensiune din fiecare rezistență (legea a II-a a lui Kirchhoff) deci:

$$U = U_1 + U_2 + \quad + U_n$$

sau:

$$RI = R_1I + R_2I + \quad + R_nI.$$

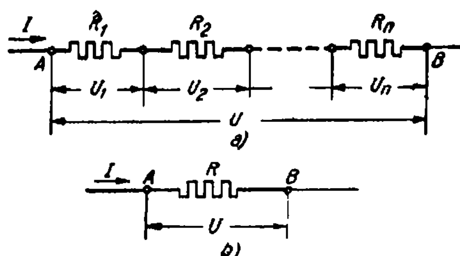


Fig. 2-5. Legarea în serie a rezistențelor: a — rezistențe legate în serie; b — rezistența echivalentă.

Cum curentul I este același în toate rezistențele legate în serie, rezultă că *rezistența echivalentă* R *a mai multor rezistențe* R_1, R_2, ..., R_n *legate în serie, este egală cu suma acestor rezistențe:*

$$R = R_1 + R_2 + \quad + R_n$$

$$\text{sau: } R = \sum_{i=1}^{i=n} R_i \qquad (2.13)$$

Cînd cele n rezistențe sînt egale cu R_1, rezultă:

$$R = nR_1. \qquad (2\cdot 14)$$

b) *Rezistențe în derivație (în paralel)* (fig. 2—6). Curentul total care trece prin cele n rezistențe legate în paralel este egal cu suma curenților care trec prin fiecare rezistență (legea I a lui Kirchhoff):

$$I = I_1 + I_2 + \quad + I_n.$$

Cum tensiunea U la bornele rezistențelor este aceeași pentru toate rezistențele, se poate scrie:

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \quad + \frac{U}{R_n},$$

de unde rezultă:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \quad + \frac{1}{R_n} \text{ sau: } \frac{1}{R} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{R_i}, \qquad (2.15)$$

adică: *inversul rezistenței echivalente* $\frac{1}{R}$ *a mai multor rezistențe legate în paralel este egal cu suma inverselor acestor rezistențe.* Din această relație se deduce rezistența echivalentă R.

În cazul a două rezistențe legate în paralel, cu ajutorul relației (2-15) se deduce expresia rezistenței echivalente:

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}. \quad (2.16)$$

Cînd cele n rezistențe R_i sînt egale, rezultă

$$R = \frac{R_i}{n}. \quad (2.17)$$

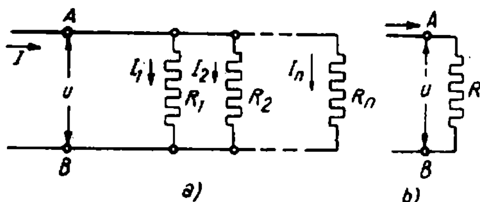


Fig. 2-6. Legarea în derivație a rezistențelor: a — rezistențe legate în derivație; b — rezistența echivalentă.

c) *Rezistențe legate mixt.* Se pot face combinații între rezistențe legate în serie și rezistențe legate în derivație (fig. 2—7). Rezistența echivalentă se calculează în acest caz din aproape în aproape.

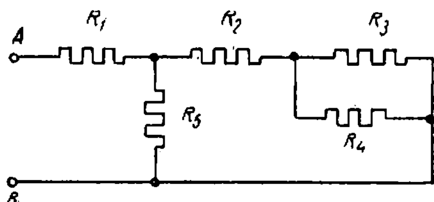


Fig. 2-7. Legarea mixtă a rezistențelor.

Astfel, în cazul reprezentat în figura 2—7, R_3 și R_4 sînt în paralel. Se calculează rezistența lor echivalentă R_{34} aceasta se adună cu R_2, cu care este în serie, obținînd R'; aceasta este în paralel cu R_5; rezistența echivalentă R'' a acestora este în serie cu R_1, cu care se adună.

7. Legea lui Joule-Lenz. Energia electrică

Cînd printr-o rezistență R trece un curent I, rezistența se încălzește datorită transformării în căldură a energiei electrice W, dată de relația:

$$W = RI^2t, \quad (2 \cdot 18)$$

în care t este timpul cît a trecut curentul prin rezistență. În sistemul MKSA, W se măsoară în jouli (J), R — în ohmi (Ω), I — în amperi (A), t — în secunde (s).

Pentru a exprima energia W în calorii mici (cal.), termenul al doilea din relația (2.18) trebuie înmulțit cu echivalentul în calorii al unui joule, adică:

$$Q = 0{,}24\ RI^2t. \quad (2 \cdot 19)$$

Ţinîndu-se seamă de legea lui Ohm, expresia (2.18) a energiei electrice absorbite de o rezistenţă electrică se mai poate scrie:

$$W = RI^2t = UIt = \frac{U^2}{R}t. \tag{2.20}$$

Plecînd de la relaţia $W = UIt$ şi ţinîndu-se seama de relaţia (2.1), din care $Q = It$, se deduce:

$$W = UQ.$$

Energia electrică (totală) produsă (debitată) de o sursă cu o forţă electromotoare E, într-un timp t, cînd prin sursă trece un curent I, este:

$$W = EIt. \tag{2.21}$$

Pe baza principiului conservării energiei (energia nu se pierde, nu se creează, ci se transformă), trebuie ca energia produsă de o sursă să fie egală cu energia absorbită (consumată) de circuit. Dacă se consideră circuitul din figura 2—1, energia consumată de circuit este energia absorbită de rezistenţa R a circuitului legat la bornele sursei şi de rezistenţa r din interiorul sursei. Se poate scrie:

$$W_{\text{produs}} = W_{\text{absorbit}} \tag{2.22}$$

$$EIt = RI^2t + rI^2t.$$

energie produsă de sursă	=	energie utilizată în exterior	+	energie pierdută, din punct de vedere util, în interiorul sursei

sau:

$$EIt = UIt + rI^2t.$$

Energia electrică debitată de o sursă în circuitul legat la bornele ei, absorbită de acest circuit, este:

$$W' = UIt = EIt - rI^2t. \tag{2.23}$$

Practic, energia electrică se măsoară cu ajutorul *contorului electric* şi se exprimă în kWh (kilowatt-oră):

$$1\ \text{kWh} = 3{,}6 \cdot 10^6\ \text{J}. \tag{2.24}$$

8. Puterea electrică

Puterea electrică este energia electrică raportată la timpul în care ea este produsă sau absorbită:

$$P = \frac{W}{t}. \tag{2.25}$$

Puterea electrică absorbită de o rezistență R este:

$$P = RI^2 = UI = \frac{U^2}{R}, \tag{2.26}$$

dedusă din expresiile (2.20) și (2.25).

În mod analog, puterea electrică totală produsă de o sursă este:

$$P = EI. \tag{2.27}$$

Puterea electrică debitată de o sursă în circuitul legat la bornele ei și absorbită de acest circuit este:

$$P' = UI. \tag{2.28}$$

În sistemul MKSA puterea se măsoară în W (wați).

Practic, pentru măsurarea puterii se folosește un multiplu al acestei unități și anume kilowattul (kW):

$$1 \text{ kW} = 1\,000 \text{ W} = 10^3 \text{ W}. \tag{2.29}$$

Aparatul folosit pentru a măsura puterea electrică se numește wattmetru.

Aplicație. O lampă electrică cu incandescență (bec electric) de 60 W și 220 V este aprinsă 4 ore pe zi. Care este energia consumată în timp de o lună (30 de zile)? Să se determine curentul care trece prin lampă și rezistența electrică a lămpii aprinse.

Rezolvare. Puterea lămpii, conform enunțului problemei, este:

$$P = 60 \text{ W} = 0,06 \text{ kW}.$$

Această putere este absorbită într-o lună timp de:

$$t = 4 \text{ h/zi} \times 30 \text{ zile} = 120 \text{ h}.$$

Energia consumată va fi:

$$W = Pt = 0,06 \text{ kW} \cdot 120 \text{ h} = 7,2 \text{ kWh},$$

sau:

$$W = 7,2 \text{ kWh} \cdot 3,6 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kWh}} = 25,92 \cdot 10^6 \text{ J}.$$

Curentul care trece prin lampă se deduce din una din relațiile (2.26):

$$I = \frac{P}{U} = \frac{60\ \text{W}}{220\ \text{V}} = 0{,}272\ \text{A}.$$

Rezistența electrică a lămpii este (relația 2.26):

$$R = \frac{U^2}{P} = \frac{P}{I^2} = \frac{U}{I};$$

$$R = \frac{220^2}{60} = \frac{60}{0{,}272^2} = \frac{220}{0{,}272} = 806{,}6\ \Omega.$$

Observație. Lampa are această rezistență electrică numai la incandescență. În stare rece, la lămpile cu filament metalic, rezistența filamentului este mult mai mică, de circa 10 ori.

Capitolul III

Pile. Acumulatoare

1. Curentul prin electroliţi. Electroliza

Unele lichide, cum sînt acizii, bazele, soluţiile sărurilor, sărurile topite, conduc curentul electric. Trecerea curentului este însoţită de producerea unor fenomene chimice şi de aceea aceste corpuri se numesc *conductoare de clasa a doua* sau *electroliţi*. Curentul este trecut prin electroliţi prin intermediul a două piese metalice scufundate în electrolit şi denumite *electrozi*. Electrodul legat la polul pozitiv al sursei se numeşte *anod*, iar cel legat la polul negativ *catod* (fig. 3—1).

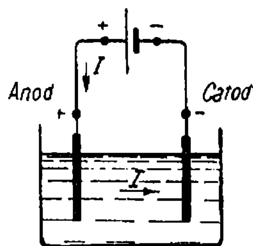


Fig. 3-1. Electroliza.

La trecerea curentului, în jurul electrozilor apar produşi chimici rezultaţi din descompunerea electrolitului.

Descompunerea unui electrolit cu ajutorul curentului electric se numeşte *electroliză*.

Masa M de substanţă depusă la un electrod prin trecerea unui curent I în timpul t este proporţională cu cantitatea de electricitate care străbate electrolitul:

$$M = kIt = kQ, \tag{3.1}$$

în care k este *echivalentul electrochimic* al substanţei depuse (tabela 3-1).

Tabela 3-1

Echivalenţii electrochimici ai cîtorva elemente

Hidrogen	0,0104 mg/C	Argint	1,118 mg/C
Cupru	0,328 mg/C	Nichel	0,304 mg/C
Zinc	0,338 mg/C		

În sistemul MKSA: M se măsoară în kg, I — în A, t — în s; k — în $\frac{kg}{C}$.

Electroliza are numeroase aplicații practice, printre care *galvanostegia*, adică acoperirea obiectelor cu un strat subțire de metal pe cale electrolitică (nichelare, galvanizare etc.).

În practică, acolo unde există instalații de tracțiune electrică cu troleu, în curent continuu, curenții de dispersie (vagabonzi) care, în loc să circule prin șine, circulă prin pămînt pot trece prin diferite piese metalice în contact cu pămîntul, cum sînt țevile de apă, de aer comprimat, mantaua de plumb a cablurilor. La locurile de pătrundere și de ieșire a curentului, în aceste piese metalice — în prezența umezelii — apar fenomene de electroliză producînd așa-numita *coroziune electrolitică* care distruge metalul, provocînd grave neajunsuri.

2. Pile și acumulatoare

După cum curentul electric produce efecte chimice, tot astfel fenomenele chimice pot produce energie electrică, energia chimică transformîndu-se în energie electrică.

Pilele electrice (elemente galvanice, elemente primare) sînt construite din doi electrozi (cărbune și un metal, sau două metale diferite), separați prin unul sau doi electroliți.

Prin contactul dintre electrozi și electrolit, apare în pilă o forță electromotoare. Dacă circuitul exterior pilei este închis printr-o rezistență (legată la bornele pilei), electrolitul intră în reacție chimică cu electrozii și în circuit apare un curent electric. Astfel, pe seama energiei chimice, pila produce energie electrică pînă la uzarea electrozilor (la construcțiile obișnuite se uzează electrodul negativ).

În timpul trecerii curentului pila se poate *polariza*, adică, datorită apariției pe unul din electrozi a unui produs chimic rău conducător de electricitate, pila încetează să mai funcționeze. Cu alte cuvinte, pila produce o forță electromotoare de sens opus cu forța electromotoare principală, denumită *forță contra-electromotoare de polarizare*. Pentru a înlătura polarizarea pilei, în jurul electrodului respectiv se pune un *depolarizant*. Depolarizantul este o substanță care intră în reacție chimică cu produsul care cauzează polarizarea pilei.

Pilele la care electrolitul este lichid se numesc elemente sau *pile umede*. Dacă electrolitul este vîscos ca o pastă, astfel încît nu curge, pilele se numesc *uscate*.

Cea mai utilizată pilă este pila *Leclanché*. Electrozii ei sînt: zincul — la catod (este chiar cutia elementului, de formă cilindrică), și cărbunele — la anod. Electrolitul este o soluție de țipirig (clorură de amoniu). Depolarizantul este bioxidul de mangan (piroluzită) amestecat cu grafit și așezat într-un săculeț împrejurul catodului (fig. 3-2).

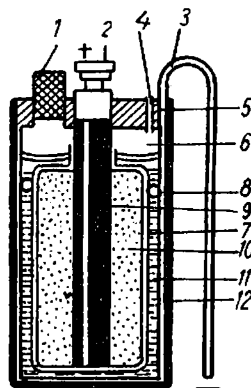


Fig. 3-2.
Pila Leclanché. Secțiune:

1 — dop; *2* — bornă pozitivă; *3* — bornă negativă; *4* — tub de aerisire; *5* — înveliș izolant exterior (carton); *6* — capac de carton; *7* — săculeț de pînză pentru depolarizant; *8* — perle de sticlă pentru centrare și izolare; *9* — electrod de cărbune (anod); *10* — depolarizant; *11* — electrolit; *12* — electrod de zinc (catod).

Capacitatea constituie o mărime caracteristică la pile (și acumulatoare).

Prin capacitatea unei pile (acumulator) se înțelege cantitatea de electricitate care trece prin circuitul exterior legat la bornele pilei (acumulatorului), pînă la epuizarea acesteia, curentul prin circuit și tensiunea la borne rămînînd între anumite limite prescrise. Capacitatea unei pile se măsoară în *amper-oră* (Ah), 1 Ah = 3 600 C.

Un element Leclanché uscat are următoarele caracteristici: forța electromotoare 1,45 ... 1,5 V; rezistența interioară variază pe măsura uzării pilei între 0,3 și 5Ω, capacitatea (în funcție de tipul elementului) de la 0,25 ... 500 Ah.

În R.P.R. se construiesc atît elemente galvanice umede (pile Leclanché pentru telecomunicații și laboratoare), cît și elemente uscate (pentru iluminat și telecomunicații).

Elementele galvanice uscate sînt standardizate prin STAS 808-49. Elementele galvanice grupate în baterii sînt standardizate prin STAS 809-49.

Acumulatoarele electrice (sau pilele electrice secundare) sînt aparate care, legate la o sursă de energie electrică, înmagazinează energie cu ajutorul unor reacții chimice. În această fază se spune că acumulatorul „se încarcă“. Legate apoi într-un circuit electric, acumulatoarele produc energie electrică (aproape tot atîta cît s-a consumat la încărcarea lor) pe baza unor reacții chimice

care se produc în sens invers decît la încărcare. Se spune că în această fază acumulatorul „se descarcă".

Acumulatoarele cele mai folosite sînt: acumulatorul cu plăci de plumb (acumulatorul acid) şi acumulatorul cu fero-nichel (acumulatorul alcalin).

Acumulatorul acid (cu plăci de plumb) se compune dintr-un vas de ebonită sau sticlă denumit bacul acumulatorului, care conţine o soluţie diluată de acid sulfuric (electrolitul), în care sînt scufundate cîteva plăci (fig. 3—3).

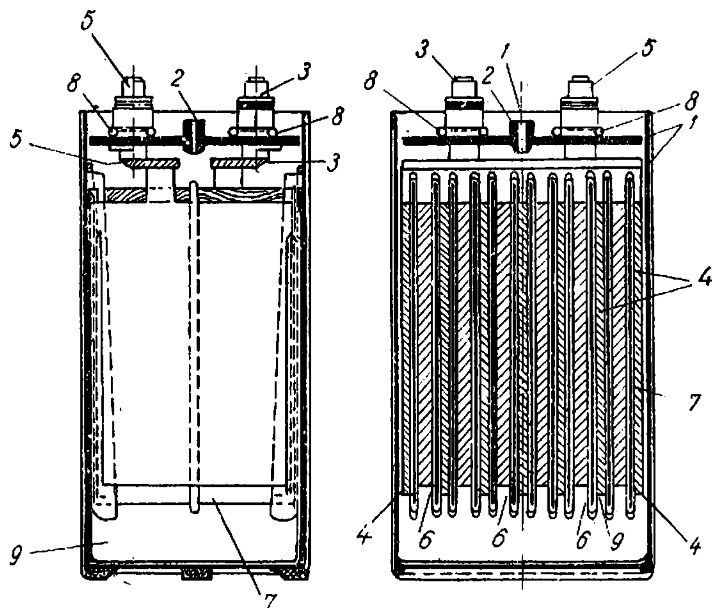
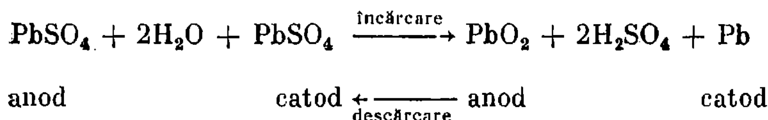


Fig. 3-3. Acumulatorul acid. Secţiune:

1 — vas şi capac; *2* — orificiul de umplere; *3* — bornă negativă şi puntea de legătură a acesteia cu plăcile negative; *4* — plăci negative; *5* — bornă pozitivă şi puntea de legătură a acesteia cu plăcile pozitive; *6* — plăci pozitive; *7* — separatoare între plăci; *8* — inel pentru fixarea capacului; *9* — spaţiu pentru depunerea impurităţilor.

Plăcile acumulatorului, unele pozitive şi altele negative, sînt formate dintr-un cadru (ramă, sac) de plumb încărcat cu diferite substanţe active (anumiţi oxizi de plumb). Plăcile pozitive (anozii), identice între ele, sînt legate la borna pozitivă, iar cele negative (catozii), de asemenea identice, sînt legate la borna negativă.

Reacţia chimică reversibilă care stă la baza funcţionării acumulatorului este:



$$\underset{\text{anod}}{PbSO_4} + 2H_2O + \underset{\text{catod}}{PbSO_4} \underset{\text{descărcare}}{\overset{\text{încărcare}}{\rightleftarrows}} \underset{\text{anod}}{PbO_2} + 2H_2SO_4 + \underset{\text{catod}}{Pb}$$

La descărcare, producîndu-se apă, densitatea acidului scade. Scăderea densităţii acidului este aproximativ proporţională cu descărcarea. De aceea, prin măsurarea densităţii acidului, se poate aprecia gradul de descărcare al unui acumulator. Densitatea prescrisă este de 1,24 ... 1,25 pentru acumulatorul încărcat şi de 1,17 1,18 pentru acumulatorul descărcat. În general, încărcarea şi descărcarea unui acumulator trebuie făcută cu respectarea strictă a indicaţiilor date de fabrica constructoare.

Pentru calcule practice, forţa electromotoare a unui element de acumulator se consideră 2V. Rezistenţa interioară a unui acumulator este cu atît mai mică, cu cît capacitatea acumulatorului este mai mare; în calculele practice se poate lua $\frac{0,1 \ldots 0,2}{C}$ (Ω), C fiind capacitatea acumulatorului în Ah la regimul de descărcare de 3 ore. Capacitatea unui acumulator depinde de regimul de descărcare. Cu cît descărcarea se face într-un timp mai scurt, deci cu un curent mai mare, capacitatea acumulatorului scade. Notîndu-se cu 100% capacitatea corespunzătoare regimului de descărcare în 3 ore, capacitatea acumulatorului la alte regimuri de descărcare are valorile indicate în tabela 3-2.

Tabela 3-2

Capacitatea acumulatorului acid la diferite regimuri de descărcare

Regimul de descărcare, în h	1	2	3	5	7,5	10
Capacitatea, %	69	83	100	111	123	133

Pentru încărcarea unui acumulator se consumă o energie electrică W_i mai mare decît energia electrică W_d pe care o restituie acumulatorul la descărcare. Raportul:

$$\eta_W = \frac{W}{W_i} \tag{3.2}$$

se numeşte *randamentul energetic* al acumulatorului; în practică, el are o valoare de circa 0,7 ... 0,8. O parte din acumulatoarele cu plăci de plumb sînt standardizate prin STAS 443-52, 444-52, 446-52.

Acumulatorul alcalin cu fero-nichel sau cu nichel-cadmiu. Vasul acestui acumulator se execută din tablă de oţel nichelată sau cadmiată. Electrolitul este o soluţie de hidrat de potasiu (KOH) cu o densitate de 1,2 (24 Beaumé). Electrolitul nu ia parte la reacţie şi, independent de încărcarea sau descărcarea acumulatorului, el rămîne neschimbat.

În calculele practice, pentru tensiune se ia valoarea medie de 1,2 V.

Acumulatorul alcalin este mai uşor şi mai rezistent decît acumulatorul cu plăci de plumb. El admite şocuri de curent, poate fi descărcat complet şi lăsat în această situaţie fără să se degradeze.

Randamentul energetic al acumulatorului alcalin este însă de numai circa 0,5.

În prezent, acumulatoarele alcaline sînt din ce în ce mai mult întrebuinţate în industrie, la iluminatul individual şi la tracţiunea electrică cu electrocare cu acumulatoare.

3. Gruparea pilelor şi a acumulatoarelor

Pilele şi acumulatoarele pot fi grupate în serie, derivaţie şi mixt, alcătuind o baterie. Notîndu-se cu:

e — forţa electromotoare a unui acumulator (sau pilă), în V;
r — rezistenţa interioară a unui acumulator (sau pilă), în Ω;
q — capacitatea unui acumulator (sau pilă), în Ah;
i — curentul printr-un acumulator (sau pilă), în A;
E — forţa electromotoare a bateriei formate, în V;
r_t — rezistenţa interioară (totală) a bateriei, în Ω;

Q — capacitatea bateriei, în Ah;
I — curentul care trece prin circuitul exterior, legat la bornele bateriei, în A;
R — rezistența circuitului exterior, în Ω,

se poate scrie:

a) *Pentru gruparea în serie a* n *elemente identice* (fig. 3—4):

$$\left.\begin{aligned} &E = ne;\quad r_t = nr;\quad Q = q \\ &I = i = \frac{E}{R + r_t} = \frac{ne}{R + nr} = \frac{e}{r + \frac{R}{n}} \end{aligned}\right\} \qquad (3.3)$$

Această grupare se folosește atunci cînd este necesar să se obțină o tensiune mai mare decît forța electromotoare a unui element.

b) *Pentru gruparea în derivație a* m *elemente identice* (fig. 3—5):

$$\left.\begin{aligned} &E = e;\quad r_t = \frac{r}{m};\quad Q = mq \\ &I = mi = \frac{E}{R + r_t} = \frac{e}{R + \frac{r}{m}};\quad i = \frac{e}{mR + r} \end{aligned}\right\} \qquad (3.4)$$

Această grupare se folosește atunci cînd este necesar să se obțină un curent mai mare decît cel pe care-l poate da un singur element, sau cînd rezistența interioară a unui element este prea mare.

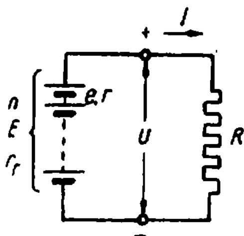


Fig. 3-4. Gruparea elementelor în serie.

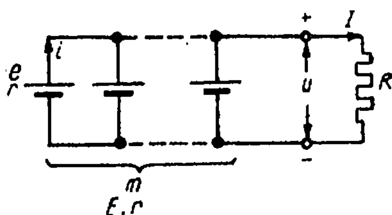


Fig. 3-5. Gruparea elementelor în derivație.

c) *Pentru gruparea mixtă a* m *grupe în derivație formate din cîte* n *elemente în serie* (fig. 3—6):

$$\left.\begin{aligned} &E = ne;\ r_t = \\ &= \frac{n}{m} r;\ Q = mq \\ &I = mi = \frac{E}{R + r_t} = \\ &= \frac{ne}{R + \frac{nr}{m}} = \frac{e}{\frac{r}{m} + \frac{R}{n}}; \\ &i = \frac{e}{r + \frac{m}{n} R} \end{aligned}\right\} \quad (3.5)$$

Fig. 3–6. Elemente grupate mixt.

În toate aceste cazuri, tensiunea la bornele bateriei se calculează folosind relația.

$$U = E - r_t \cdot I. \qquad (3.6)$$

Capitolul IV

Magnetism și electromagnetism

1. Magneți naturali și magneți artificiali. Cîmp magnetic

În natură există minereuri care conțin fier și au proprietatea de a atrage bucăți mai mici, tot de fier. Proprietatea aceasta se numește *magnetism*, iar minereurile respective, *magneți naturali*. În afară de acești magneți naturali, există și magneți *artificiali*, fabricați, de obicei, din piese de oțel, care sînt frecate, după anumite procedee, cu ajutorul unor magneți naturali.

Magneții artificiali au diverse forme: bară, potcoavă etc. S-a constatat că forțele exercitate de un magnet au o intensitate mult mai mare la extremitățile magnetului, care se numesc *poli magnetici*. Dacă un magnet în formă de ac este suspendat în mijloc, are proprietatea de a se îndrepta cu aceeași extremitate în direcția (aproximativă) a polului nord geografic. Pe această proprietate se bazează funcționarea *busolei*. Busola cuprinde de obicei o lamă magnetică, avînd o formă rombică, alungită, care se sprijină pe vîrful unui ac vertical (fig. 4—1). Extremitatea care se îndreaptă cu aproximație spre polul nord geografic constituie *polul nord* al magnetului respectiv și se vopsește de obicei în negru. Cealaltă extremitate constituie *polul sud*. S–a constatat la magneți diferiți că *polii de același nume se resping*, iar *polii de nume diferit se atrag*.

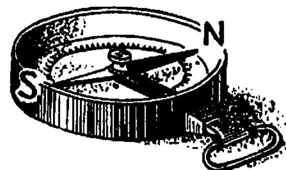


Fig. 4-1. Busolă.

Pămîntul se comportă ca un magnet uriaș. Polul său nord magnetic se găsește aproximativ în direcția polului nord geografic, iar polul său sud magnetic, în direcția polului sud geografic.

Ca şi în cazul forţelor electrice din cîmpul electric, oamenii de ştiinţă au căutat să explice cum se transmit forţele magnetice de atracţie şi de repulsie, de la un corp la altul. Şi în acest caz s-a crezut la început că aceste forţe se transmit instantaneu şi de la distanţă. Mai tîrziu însă s-a putut dovedi că forţele magnetice se transmit *din aproape în aproape*, prin intermediul unei stări magnetice speciale care se creează în jurul oricărui magnet şi care se numeşte *cîmp magnetic.*

2. Cîmp magnetic datorit curentului electric. Spectre magnetice

Dacă se aşază un ac magnetic în apropierea unui conductor străbătut de un curent electric, se constată că acul magnetic este supus unei forţe care-l îndreaptă totdeauna într-o anumită poziţie faţă de conductor.

De exemplu, în cazul din figura 4—2, *a*, busola *B* fiind deasupra curentului, polul nord se va îndrepta spre dreapta, iar în cazul din figura 4—2, *b*, busola *B* fiind sub curent, polul nord se va îndrepta spre stînga.

Dacă deasupra unui magnet în formă de bară se aşază o foaie de hîrtie pe care se presară pilitură de fier, se observă că pilitura se orientează după anumite direcţii, ca în figura 4—3, constituind

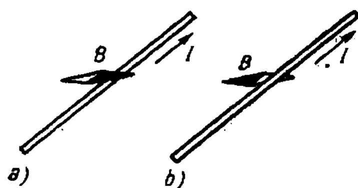


Fig. 4–2. Poziţia acului magnetic faţă de curentul electric:
a — deasupra conductorului;
b — sub conductor.



Fig. 4–3. Spectrul magnetic al unui magnet în formă de bară.

un spectru magnetic. Dacă pilitura de fier se aşază pe o foaie de hîrtie, străpunsă de o spiră parcursă de curent electric (fig. 4—4), se observă că pilitura se aşază ca şi cum spira ar fi tot un magnet, dar ceva mai mic. Dacă în loc de o singură spiră, sînt mai multe spire paralele ale aceleiaşi bobine (solenoid) parcurse de

curent, ca în figura 4—5, asemănarea între spectrul magnetic al bobinei şi acela al magnetului din figura 4—3 este mai accentuată.

Din această constatare se poate trage concluzia că şi curentul electric creează în jurul lui un cîmp magnetic. Faptul că atît magneţii, cît şi curenţii electrici creează în jurul lor cîmpuri

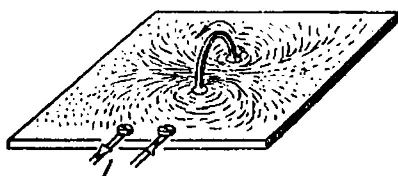


Fig. 4—4. Spectrul magnetic produs de o spiră parcursă de curent.

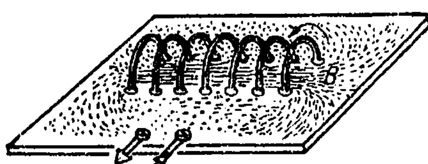


Fig. 4–5. Spectrul magnetic produs de o bobină (solenoid) parcursă de curent.

magnetice, arată că între magneţi şi curenţi trebuie să existe o anumită legătură. Această legătură reiese din însăşi explicaţia ştiinţifică a proprietăţilor materialelor magnetice, care este următoarea:

Se ştie că atomii unui corp sînt constituiţi dintr-un nucleu încărcat cu o sarcină pozitivă, în jurul căruia se rotesc electronii cu mare viteză pe anumite orbite. Fiecare electron, în circulaţia lui în jurul nucleului, constituie un mic curent electric în jurul acestui nucleu, după cum electronii care circulă într-un conductor constituie un curent electric în acel conductor.

Fiecare din aceste circuite se comportă ca un mic magnet, iar săgeţile respective indică prin vîrful lor polul nord, şi prin cealaltă extremitate, polul sud respectiv.

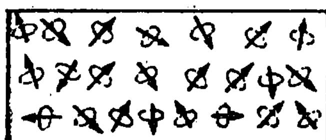


Fig. 4–6. Orientarea atomilor la un material nemagnetic.

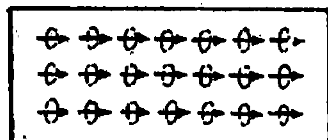


Fig. 4–7. Orientarea atomilor la un magnet.

La un material care nu este magnet, planele circuitelor sînt aşezate la întîmplare (fig. 4—6), efectul lor magnetic total anulîndu-se. Într-un magnet, atomii sînt orientaţi astfel că micile circuite electrice se găsesc în plane paralele, cu polii de acelaşi nume îndreptaţi în acelaşi sens, ca în figura 4—7, astfel încît

efectul lor magnetic se adună. Aceasta explică și faptul că dacă se divide un magnet în mai multe părți, fiecare parte reprezintă tot un magnet.

Din cele expuse rezultă că un cîmp magnetic se datorează totdeauna *deplasării unor sarcini electrice* (electroni) fie că este produs de un curent electric (care corespunde deplasării electronilor de-a lungul unui circuit electric), fie că este produs de un magnet (unde se produce deplasarea electronilor în interiorul atomilor, după cum s-a arătat).

Dacă o piesă de oțel magnetizată este lovită puternic, ea se poate demagnetiza, deoarece circuitele electrice constituite din electronii atomici, care erau la început așezate ordonat, revin în poziții dezordonate din cauza loviturii.

3. Inducția magnetică. Linii de forță magnetică

Cîmpul magnetic se poate caracteriza în fiecare punct al său printr-o mărime vectorială, numită *inducție magnetică*, și care se notează de obicei prin simbolul *B*.

Direcția inducției magnetice este direcția pe care o capătă un ac magnetic așezat în cîmpul magnetic respectiv. Sensul inducției magnetice se consideră cel indicat de polul nord al acului magnetic, după cum se arată în figura 4—8.

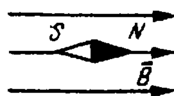


Fig. 4-8. Direcția și sensul vectorului $\overline{B}$.

Curbele față de care vectorul $\overline{B}$ rămîne tangent se numesc *linii de forță magnetică* ale cîmpului magnetic. Aceste linii de forță au totdeauna sensul vectorului $\overline{B}$ în orice punct.

Există o regulă, numită *regula burghiului*, care permite să se determine sensul liniilor de forță magnetică, după cum se arată în exemplele care urmează. În cazul unui conductor rectiliniu foarte lung (*c*), parcurs de un curent electric (*I*), liniile de forță se găsesc în plane perpendiculare pe direcția curentului și sînt cercuri concentrice cu centrul în punctul unde conductorul străpunge planul (fig. 4—9). Dacă acest plan este materializat printr-o foaie de hîrtie și pe hîrtie se presară pilitură de fier, aceasta se așază după direcția liniilor de forță. Sensul liniilor de forță se găsește astfel folosind *regula burghiului*: ***un burghiu care se deplasează în direcția curentului se rotește în sensul liniilor de forță magnetică*** (fig. 4—10). O dată cunoscut sensul liniilor de forță, se poate determina și sensul vectorului $\overline{B}$ al inducției

magnetice, dat fiind că acest vector are acelaşi sens, ca şi linia de forţă, în punctul unde vectorul este tangent la linia respectivă.

Cu ajutorul acului magnetic se poate preciza sensul liniilor de forţă în cazul unui magnet şi al unui solenoid, aşa cum se

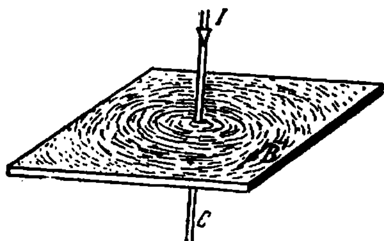


Fig. 4-9. Spectrul magnetic al unui curent rectiliniu foarte lung.

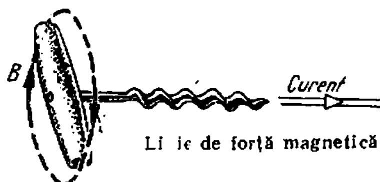


Fig. 4-10. Regula burghiului cînd curentul este rectiliniu.

arată în figurile 4—11 şi 4—12 unde, pentru simplificare, s-au trasat numai cîte patru linii de forţă în fiecare caz. Extremitatea unde liniile de forţă magnetică ies din bara magnetică sau din solenoid constituie polul nord, iar extremitatea unde

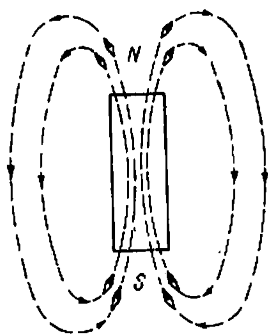


Fig. 4-11. Sensul liniilor de forţă magnetică la un magnet în formă de bară.

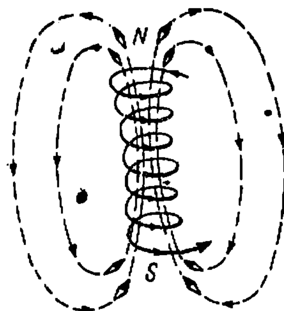


Fig. 4-12. Sensul liniilor de forţă magnetică la un solenoid parcurs de curent.

liniile de forţă magnetică intră în bara magnetică sau în solenoid constituie polul sud. Pentru a se afla care este polul nord sau sud al unui solenoid (deci sensul liniilor de forţă în interiorul solenoidului) parcurs de curent, este suficient să se cunoască sensul curentului şi apoi să se aplice regula burghiului, şi anu-

me: *un burghiu care se rotește în sensul curentului se deplasează în sensul liniilor de forță magnetică* (fig. 4—13).

În figura 4—14 s-au trasat liniile de forță magnetică produse de un solenoid în formă de tor (inel) parcurs de un curent. Sensul lor se poate afla folosind regula burghiului, ca și în cazul din figura 4—12.

Valoarea inducției magnetice este proporțională cu *desimea* liniilor de forță. În felul acesta, liniile de forță pot da o imagine și asupra felului cum variază valoarea inducției magnetice în diverse locuri. Inducția magnetică se măsoară cu unitatea de măsură numită *tesla* (T).

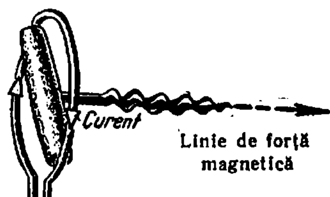


Fig. 4–13. Regula burghiului cînd curentul este circular.

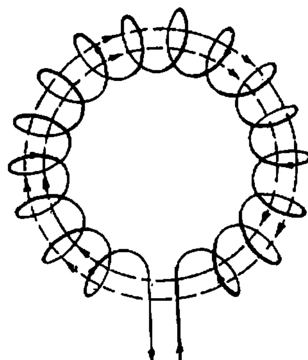


Fig. 4–14. Sensul liniilor de forță magnetică în cazul unui solenoid inelar (în formă de tor) parcurs de curent.

4. Flux de inducție magnetică

În figura 4—15 s-a reprezentat un magnet în formă de bară. S-au trasat cîteva linii de forță în interiorul magnetului. Se observă că prin fața $ABCD$, liniile de forță magnetică intră în magnet, iar prin fața $A'B'C'D'$, liniile de forță magnetică ies din magnet. În consecință, fața $ABCD$ constituie polul sud, iar fața $A'B'C'D'$, polul nord al magnetului. Bara magnetică are forma unui paralelipiped cu baza un dreptunghi. Liniile de forță sînt perpendiculare pe fețele $ABCD$ și $A'B'C'D'$ precum și pe orice secțiune făcută prin magnet perpendicular pe axa sa (adică secțiune dreaptă), cum este de exemplu secțiunea $A''B''C''D''$. Dacă intensitatea vectorului inducție magnetică în interiorul magnetului este B, iar suprafața secțiunii

$A''B''C''D''$ (pe care vectorul $\overline{B}$ este perpendicular în orice punct), este S, atunci expresia:

$$\Phi = B \cdot S,$$

adică valoarea inducției magnetice multiplicată cu valoarea suprafeței pe care inducția magnetică este perpendiculară, se numește *flux de inducție magnetică* în raport cu suprafața S. Fluxul de inducție magnetică, sau pe scurt *fluxul magnetic*, se

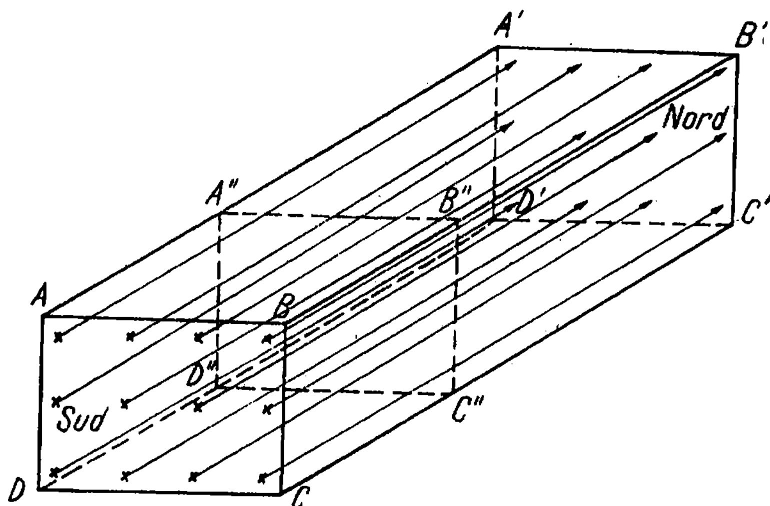


Fig. 4-15. Fluxul magnetic în interiorul unui magnet.

notează de obicei cu litera mare grecească Φ (se citește „fi".) Se întrebuințează de multe ori și expresia: „flux magnetic prin suprafața S" deoarece liniile de forță respective trec prin suprafața S. Dacă suprafața S se măsoară în metri pătrați, iar inducția magnetică în tesla, rezultă pentru fluxul magnetic o unitate de măsură numită *weber* (Wb). Din relația:

$$\Phi = B \cdot S \tag{4.1}$$

rezultă:

$$B = \frac{\Phi}{S},$$

adică valoarea inducției magnetice B, măsurată în tesla, este egală cu valoarea fluxului magnetic Φ, măsurat în weberi, împăr-

ţită prin valoarea suprafeţei S, măsurată în metri pătraţi. În consecinţă, inducţia magnetică se poate măsura şi în *weber pe metru pătrat* (Wb/m²), iar 1 tesla $= \frac{1\,\text{Wb}}{\text{m}^2}$.

În figura 4—16 s-a considerat o bobină cu n spire, fiecare spiră avînd suprafaţa S. Dacă această bobină este străbătută în interiorul ei de liniile de forţă ale unui cîmp de inducţie magnetică B (în figură s-a reprezentat, pentru simplificare, numai linia din axul bobinei), fluxul magnetic raportat la o spiră este:

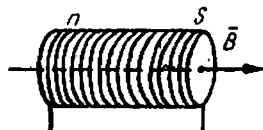


Fig. 4-16. Fluxul magnetic al unei bobine.

$$\Phi_s = B \cdot S,$$

iar fluxul magnetic *total*, pentru întreaga bobină de n spire este:

$$\Phi_b = n \cdot B \cdot S. \qquad (4.2)$$

5. Inducţia magnetică şi cîmpul magnetic datoriţi curenţilor electrici

În aplicaţiile practice este util să se cunoască inducţia magnetică datorită curenţilor electrici, în cîteva cazuri care se întîlnesc mai frecvent.

Cazul bobinei inelare. În figura 4—17 se consideră o bobină inelară parcursă de curentul electric I avînd raza cercului mediu egală cu r. În orice punct al acestui cerc mediu, care reprezintă şi o linie de forţă magnetică, vectorul inducţiei magnetice B este tangent la acest cerc. Pentru a afla sensul acestui vector, se aplică regula burghiului: sensul vectorului inducţie magnetică este sensul în care se deplasează burghiul atunci cînd este rotit în sensul curentului. Dacă se notează cu n numărul de spire şi cu l lungimea cercului mediu ($2\pi r$), valoarea inducţiei magnetice este:

$$B = \mu_0 \frac{n}{l} I. \qquad (4.3)$$

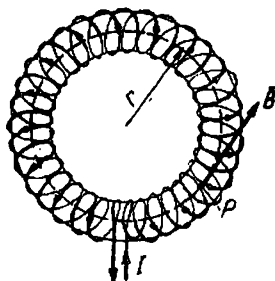


Fig. 4-17. Inducţia magnetică într-o bobină inelară.

În această relație intervine și factorul μ_0, care poartă numele de *permeabilitatea magnetică* a vidului. În general, permeabilitatea magnetică a unui mediu oarecare se notează cu litera grecească μ (se citește „miu") și depinde de propietățile magnetice ale acestui mediu. Cînd mediul este aerul, permeabilitatea magnetică se notează tot cu μ_0 fiind practic egală cu permeabilitatea vidului. Valoarea acestei permeabilități este:

$$\mu_0 = \frac{4\pi}{10^7} \frac{\text{Wb}}{\text{A} \cdot \text{m}}.$$

Se numește *permeabilitate magnetică relativă* μ_r a unui mediu, raportul dintre permeabilitatea magnetică μ_0 a mediului și aceea a vidului, adică:

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}. \tag{4.4}$$

Dacă se împarte valoarea inducției magnetice la valoarea permeabilității magnetice a mediului respectiv, se capătă *intensitatea cîmpului magnetic*, care este tot o mărime vectorială, ce se notează de obicei cu $\overline{H}$.

În cazul bobinei inelare din figura 4–17, se poate scrie:

$$H = \frac{B}{\mu_0} = \frac{n}{l} I = n_s \quad I \tag{4.5}$$

unde:

$$n_s = \frac{n}{l}$$

este numărul de spire pe unitatea de lungime a bobinei.

Direcția și sensul vectorului $\overline{H}$ coincide cu direcția și sensul vectorului $\overline{B}$.

Cazul bobinei drepte. În figura 4–18 se consideră o bobină dreaptă de lungime l, cu n spire, și parcursă de curentul I. Într-un punct de pe axul bobinei, direcția vectorului inducție magnetică $\overline{B}$ și intensitatea cîmpului $\overline{H}$ coincid cu direcția axului bobinei. Sensul se găsește folosind regula burghiului, iar valorile sînt date de relațiile:

$$B = \mu_0 \frac{n}{l} \quad I = \mu_0 \, n_s \, I,$$

$$H = \frac{n}{l} \quad I = n_s \, I.$$

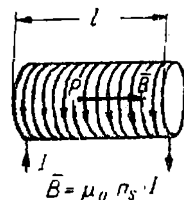


Fig. 4–18. Inducția magnetică într-o bobină dreaptă.

Aceasta este cu atît mai exact, cu cît bobina este mai lungă în raport cu grosimea și cu cît punctul considerat este mai depărtat de extremitățile bobinei.

Dacă intensitatea curentului se măsoară în amperi, iar lungimea în metri, rezultă pentru H o unitate de măsură numită *amper-spiră pe metru* (A. sp/m). Explicația denumirii acestei unități de măsură rezultă din ultima relație.

Valoarea intensității cîmpului magnetic este totdeauna proporțională cu intensitatea curentului care o produce, după cum rezultă și din relațiile arătate mai înainte.

6. Forțe electromagnetice și forțe electrodinamice

Forța $\overline{F}$ care se exercită asupra unui curent situat într-un cîmp magnetic se numește *forță electromagnetică*. Direcția acestei forțe este perpendiculară pe planul constituit de vectorul inducție magnetică $\overline{B}$ și de direcția curentului I. Dacă direcția curentului este perpendiculară pe direcția liniilor de forță magnetică, forța electromagnetică este dată de formula:

$$F = B \quad I \quad l. \tag{4.6}$$

Cînd B se măsoară în tesla, I în amperi și l în metri, forța F se obține în newtoni.

În figura 4—19 se arată procedeul care trebuie aplicat pentru a se putea determina sensul acestei forțe. Se presupune că vectorul inducție magnetică $\overline{B}$ este orizontal și dirijat de la dreapta la stînga ca în figură. Curentul I este perpendicular pe planul hîrtiei și se presupune că are sensul din față înspre spatele hîrtiei. Acest sens al curentului este indicat în figură printr-o cruce. Dacă sensul curentului ar fi fost invers, adică din spatele hîrtiei spre față, s-ar fi indicat printr-un punct. (Punctul ar reprezenta vîrful unei săgeți, iar crucea ar reprezenta coada săgeții). Forța $\overline{F}$, fiind perpendiculară pe planul format de B și I, va fi, în cazul dat, verticală. Rămîne să se determine dacă forța $\overline{F}$ este dirijată în sus sau în jos. S-au punctat cercurile care reprezintă liniile de forță magnetică ale curentului.

Aceste linii au sensul orar, conform cu regula burghiului. În partea inferioară a conductorului, sensul liniilor de forță este același atît pentru cîmpul magnetic de inducție $\overline{B}$, în care

se găsește curentul, cît și pentru curent; efectul lor se adună, iar liniile de forță rezultante se îndesesc. În partea superioară a conductorului, dimpotrivă, ele se răresc, deoarece liniile de forță magnetică ale curentului au sens contrar față de liniile de forță magnetică ale cîmpului magnetic de inducție $\overline{B}$. Regula este următoarea: *Sensul forței electromagnetice este dinspre liniile mai dese înspre liniile mai rare*, adică de jos în sus în cazul figurii. Se mai poate afla sensul forței electromagnetice și cu ajutorul *regulii mîinii stîngi*: *Se așază mîna stîngă astfel încît liniile de forță magnetică să intre prin palmă, iar vîrful degetului arătător să se găsească în sensul curentului; ținînd mîna desfăcută, vîrful degetului mare arată sensul forței* (fig. 4-19).

Forțele electromagnetice intervin în funcționarea mașinilor electrice. La aceste mașini, forțele electromagnetice constituie de obicei cupluri electromagnetice.

Forța la care este supus un curent, care se găsește într-un cîmp magnetic produs tot de un curent, se numește *forță electrodinamică*.

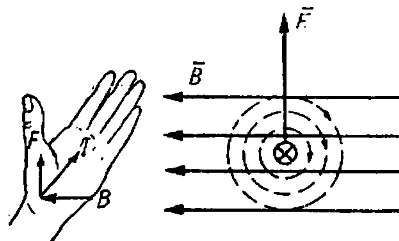


Fig. 4-19. Aflarea sensului forței electromagnetice.

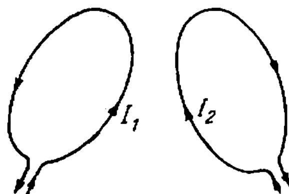


Fig. 4-20. Forțe electrodinamice.

În figura 4—20 se consideră două circuite situate în aer și parcurse de curenții I_1 și I_2. *Forta electrodinamică*, care se exercită asupra fiecărui curent, *este proporțională cu produsul intensităților celor doi curenți*, adică:

$$F = kI_1 I_2. \qquad (4.7)$$

Mașinile electrice au bobinaje constituite din spire străbătute de curenți electrici. Din această cauză, dacă curenții sînt intenși, pot apărea forțe electrodinamice care să deformeze spirele și să deterioreze materialul. Mașinile electrice trebuie astfel calculate, încît să reziste la acțiunea forțelor electrodinamice.

7. Magnetizarea și demagnetizarea oțelului. Histeresis

În figura 4—21 se consideră o bobină de lungime l cu n spire, înfășurată în jurul unui miez de oțel. Dacă se lasă să treacă un curent electric I prin bobină, în interiorul bobinei apare o inducție magnetică:

$$B = \mu \cdot n_s \cdot I,$$

în care:

μ este permeabilitatea magnetică a oțelului, iar
n_s — numărul de spire pe unitatea de lungime a bobinei, adică $n_s = n/l$.

Se știe că vectorul intensității cîmpului magnetic are valoarea:

$$H = n_s I.$$

Dacă se înlocuiește valoarea produsului $n_s I$ prin H în relația de sus se obține:

$$B = \mu H. \tag{4.8}$$

Datorită cîmpului magnetic produs de curentul care străbate bobina, atomii miezului de oțel se orientează din punct de vedere

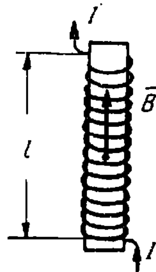


Fig. 4–21. Bobină.

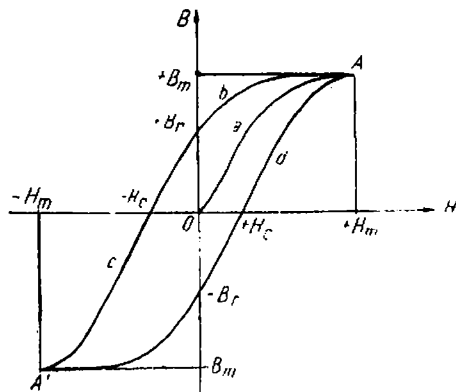


Fig. 4–22. Ciclul de histeresis al oțelului.

magnetic așa cum s-a arătat în paragraful 2. În miezul de oțel apare o inducție magnetică mult mai mare decît dacă bobina ar fi goală, prin faptul că permeabilitatea magnetică a oțelului

este mult mai mare decît aceea a aerului. Apariţia în oţel a acestei inducţii magnetice de valoare mare se constată experimental prin *magnetizarea oţelului*, adică oţelul devine un magnet. Cu cît inducţia magnetică în oţel este mai mare, cu atît oţelul se magnetizează mai intens, adică devine un magnet mai puternic. Dacă se întrerupe curentul în bobină, se constată că miezul de oţel pierde proprietăţile magnetice, se *demagnetizează*.

În figura 4—22 se arată cum variază inducţia magnetică B în oţel în funcţie de variaţia intensităţii cîmpului magnetic. Curba OaA arată această variaţie atunci cînd intensitatea cîmpului magnetic H creşte de la zero la o anumită valoare maximă H_m. Această creştere a intensităţii cîmpului magnetic se obţine prin creşterea curentului I pînă la valoarea care dă pentru intensitatea cîmpului magnetic valoarea H_m. Dacă se observă pe figură curba OaA, se vede că la început această curbă are o mică curbură în sus, apoi se apropie mult de o linie dreaptă, pentru ca spre sfîrşit să formeze un cot mai mare cu curbura în jos, după care ia din nou forma unei linii drepte orizontale. Aceasta înseamnă că inducţia magnetică B nu creşte proporţional cu H, deoarece permeabilitatea μ nu rămîne constantă, ci variază după o anumită lege (atunci cînd H variază). În ceea ce priveşte variaţia inducţiei magnetice B conform curbei OaA, se vede că la început B creşte mai încet, apoi creşte foarte repede odată cu H (porţiunea dreaptă a curbei OaA) pentru ca apoi creşterea să fie din ce în ce mai înceată, iar dincolo de punctul A, oricît s-ar mări intensitatea cîmpului magnetic H, inducţia magnetică (deci magnetizarea oţelului) rămîne la o anumită valoare maximă egală cu B_m. Se spune că oţelul a ajuns la *saturaţie magnetică*. Curba OaA care arată cum variază inducţia magnetică, adică cum variază magnetizarea oţelului, în funcţie de variaţia intensităţii cîmpului magnetic, se numeşte *curba de magnetizare* a oţelului.

Se continuă apoi experienţa, prin micşorarea intensităţii cîmpului magnetic, de la valoarea $+H_m$ la zero. Aceasta se obţine micşorînd intensitatea curentului din bobină, de la valoarea la care ajunsese, pînă la zero. Se observă că de data aceasta, inducţia magnetică B nu mai are aceleaşi valori, pe care le avusese atunci cînd H crescuse de la 0 la $+H_m$, ci are mereu valori mai mari, astfel încît atunci cînd H revine la valoarea zero, inducţia magnetică, în loc să revină la zero, păstrează încă o anumită valoare $+B_r$, ceea ce arată că deşi *cauza* care producea magnetizarea, adică H, a dispărut, oţelul mai păstrează o anumită magnetizare corespunzătoare inducţiei magnetice B_r, care poartă numele de *magnetism remanent*. Valoarea acestui magne-

tism remanent depinde de calitatea oţelului. Unele calităţi se demagnetizează aproape complet cînd H s-a anulat (oţelul moale), altele, dimpotrivă, păstrează un important magnetism remanent (oţelul dur).

Pentru a face să dispară acest magnetism remanent, deci pentru a anula inducţia magnetică B_r, care a rămas în oţel, este necesar să se producă în oţel o valoare *negativă* pentru intensitatea cîmpului magnetic H. Aceasta se obţine schimbînd sensul curentului în bobină. În figură se observă că în momentul cînd H a atins valoarea negativă $-H_c$, inducţia magnetică în oţel s-a anulat, oţelul s-a demagnetizat complet. Intensitatea cîmpului magnetic $-H$, pentru care inducţia magnetică s-a anulat, se numeşte *forţă coercitivă*.

Dacă se micşorează mai departe H, se vede că inducţia magnetică devine negativă. Aceasta înseamnă că se schimbă sensul magnetizării în oţel, adică acolo unde era polul nord se formează un pol sud şi invers. Scăderea inducţiei magnetice continuă dacă H scade mai departe, pînă ce atinge valoarea $-B_m$ pentru valoarea $-H_m$ a intensităţii cîmpului magnetic în punctul A'. Apoi oţelul se saturează din nou. Cînd oţelul are inducţia magnetică minimă $-B_m$ înseamnă că el este totuşi magnetizat la maximum, numai că în sens invers de felul în care a fost magnetizat prima dată (polul nord a devenit pol sud şi invers).

Dacă apoi se face să crească intensitatea cîmpului magnetic de la valoarea H_m la zero (făcînd să varieze curentul din bobină, de la valoarea la care ajunsese pentru $-H_m$, la valoarea zero) se constată că şi inducţia magnetică începe să crească de la valoarea minimă $-B_m$, dar în momentul cînd intensitatea cîmpului magnetic s-a anulat din nou, inducţia magnetică nu se anulează, ci mai păstrează valoarea $-B_r$, ceea ce arată că oţelul păstrează un magnetism de sens contrar (polii magnetici s-au inversat) aceluia care corespundea inducţiei magnetice $+B_r$. În sfîrşit, pentru ca inducţia magnetică *negativă* să se anuleze (să dispară din nou magnetismul din oţel), trebuie ca intensitatea cîmpului magnetic să ajungă la valoarea pozitivă $+H_c$. Prin creşterea mai departe a intensităţii cîmpului magnetic de la $+H_c$ la valoarea maximă $+H_m$, inducţia magnetică creşte de la valoarea zero la valoarea $+B_m$, după ramura d a curbei din figură, astfel încît se închide ciclul în punctul A.

După aceasta, variind în mod continuu valoarea intensităţii cîmpului magnetic între $+H_m$ şi $-H_m$, inducţia magnetică variază mereu după acelaşi ciclu, care corespunde curbei $AbcA'dA$, iar oţelul se magnetizează şi se demagnetizează succesiv, după cum s-a arătat.

Numai prima dată, adică înainte ca oţelul să mai fi fost magnetizat, curba de magnetizare a corespuns traseului OaA. Faptul că pe curba Ab de demagnetizare, în momentul cînd cauza care producea magnetizarea, adică H s-a anulat, inducţia magnetică, adică magnetizarea, nu a dispărut, ci a mai păstrat valoarea $+B_r$, înseamnă că *efectul* — adică B_m, sau magnetizarea — *a rămas în urma cauzei*, adică H. Această rămînere în urmă a efectului faţă de cauză se observă de altfel de-a lungul întregului ciclu de magnetizare şi demagnetizare $AbcA'dA$. Din această cauză, fenomenul poartă numele de *histeresis*, de la cuvîntul grecesc hysterezis, care înseamnă întîrziere. De altfel şi ciclul menţionat se numeşte *ciclu de histeresis*, iar *curba respectivă, curbă de histeresis*.

De cîte ori se magnetizează sau se demagnetizează o bucată de oţel, fenomenul este, aşadar, întîrziat de o cauză, care se opune acestei magnetizări sau demagnetizări. În consecinţă, pentru a se magnetiza sau demagnetiza oţelul, trebuie să se consume o anumită energie, care să învingă această cauză care

se opune. Energia care se consumă se transformă apoi în căldură, ceea ce se poate constata experimental. Suprafața închisă de ciclul de histeresis este proporțională tocmai cu această energie.

În figura 4-23 se dau cîteva curbe de magnetizare pentru fontă și unele calități de oțel.

În figura 4—24 s-a considerat o bucată de oțel în cîmpul magnetic produs de un magnet mai mare, în formă de potcoavă. Bara de oțel, avînd o permeabilitate magnetică mult mai mare decît aerul, se comportă ca și cum ar lăsa să treacă mult mai ușor liniile de forță magnetică prin oțel decît prin aer. Din această cauză, în bara de oțel, liniile de forță sînt mai dese, iar valoarea inducției magnetice este mai mare decît în aer.

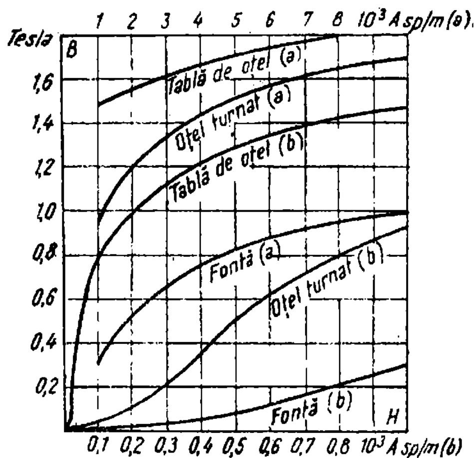


Fig. 4-23. Curbe de magnetizare.

Prin fața din stînga a barei de oțel intră liniile de forță magnetică, iar prin fața din dreapta liniile ies din bara de oțel. Din această cauză, bara devine un magnet, cu polul nord la dreapta și polul sud la stînga.

Din punct de vedere magnetic, materialele se pot împărți în mai multe categorii. Fierul și aliajele sale au o permeabilitate magnetică mult mai mare decît aceea a vidului, iar valoarea acestei permeabilități are, după cum s-a văzut, o anumită lege de variație în raport cu valoarea intensității cîmpului magnetic în care se găsește materialul. Asemenea materiale se numesc *feromagnetice*. De aceleași proprietăți feromagnetice se bucură, de exemplu, și cobaltul sau nichelul.

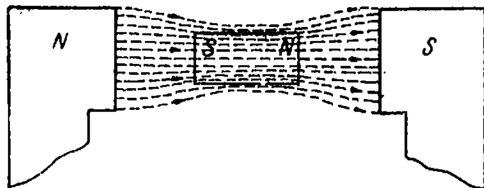


Fig. 4-24. Bară de oțel în cîmp magnetic.

Alte corpuri (aluminiu, platina, cromul, paladiul) au o permeabilitate magnetică care depășește cu foarte puțin permeabilitatea magnetică a vidului. Astfel de corpuri se numesc *paramagnetice*. În sfîrșit, o a treia categorie (aurul, argintul, cuprul, zincul, antimoniul) au permeabilitatea magnetică cu foarte puțin mai mică decît aceea a vidului. Aceste corpuri se numesc *diamagnetice*.

8. Electromagneţi

O bară de oţel moale înconjurată de o înfăşurare parcursă de un curent electric devine magnet, putînd atrage piese de oţel cu o forţă proporţională cu pătratul inducţiei magnetice (B^2). Un astfel de magnet poartă numele de *electromagnet*. Deoarece oţelul moale are un magnetism remanent neglijabil, înseamnă că de cîte ori nu mai trece curent electric prin înfăşurare, electromagnetul îşi pierde calităţile lui magnetice. Pe această proprietate se bazează funcţionarea a numeroase tipuri de electromagneţi industriali. Un exemplu de folosire a electromagneţilor este soneria electrică.

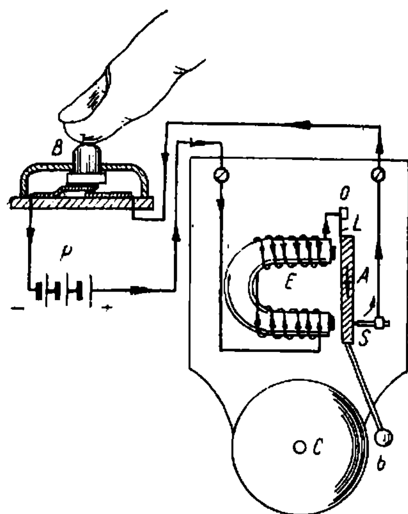


Fig. 4–25. Soneria electrică.

În figura 4—25 este reprezentată schema constructivă a unei sonerii electrice. Cînd se apasă pe butonul *B*, se închide circuitul alimentat de bateria de pile *P* şi un curent electric trece prin înfăşurările electromagnetului *E*, care atrage armătura *A* de oţel fixată prin intermediul lamei de oţel *L* în punctul *O*. În momentul cînd armătura a fost atrasă, circuitul se întrerupe în dreptul şurubului *S*. Nemaitrecînd curent prin înfăşurările electromagnetului, forţa de atracţie asupra armăturii încetează, şi aceasta sub efectul de arc al lamei *L* revine în poziţia iniţială, făcînd din nou contact cu şurubul *S* şi restabilind astfel continuitatea circuitului. Din nou trece curent prin înfăşurările electromagnetului, care atrage iarăşi armătura ş.a.m.d.; atît timp cît se apasă pe buton, armătura are o mişcare permanentă de du-te-vino.

Prin intermediul unei pîrghii, armătura este solidară cu o sferă mică de metal *b*, care în consecinţă va lovi clopotul *C* de cîte ori armătura va fi atrasă de electromagnet. Cînd se ridică mîna de pe buton, funcţionarea soneriei încetează.

9. Circuitul magnetic

În figura 4—26 se consideră o piesă de oţel inelară, avînd pe o anumită porţiune o înfăşurare constituită din n spire parcurse de curentul I. După cum se ştie, acest curent dă naştere la un cîmp magnetic. Liniile de forţă ale acestui cîmp se vor strînge în interiorul piesei de oţel, din cauza marii permeabilităţi magnetice a acestui material. Valoarea inducţiei magnetice în miezul de oţel este:

$$B = \mu \cdot n_s \cdot I = \mu \frac{n}{l} I ,$$

în care l este lungimea medie a inelului de oţel: $l = 2\,\pi r$, r fiind raza cercului mediu al inelului.

Sensul inducţiei magnetice ca şi cel al liniilor de forţă magnetică din oţel, care sînt cercuri concentrice cu centrul în O, se află folosind regula burghiului.

Dacă se notează cu S suprafaţa înconjurată de o spiră, fluxul magnetic corespunzător unei spire este:

$$\Phi = B \quad S = \mu \cdot \frac{nI}{l} \cdot S = \frac{nI}{\frac{l}{\mu S}} .$$

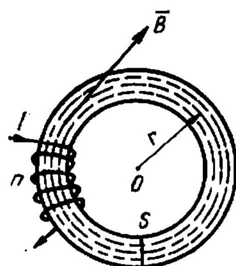


Fig. 4–26. Circuit magnetic inelar.

Expresia:

$$\mathcal{F} = n\,I \qquad (4.9)$$

se numeşte *forţa magnetomotoare*, iar expresia:

$$\mathcal{R} = \frac{l}{\mu S} \qquad (4.10)$$

se numeşte ***reluctanţa magnetică*** a miezului de oţel.

Făcîndu-se înlocuirile, se poate scrie:

$$\Phi = \frac{\mathcal{F}}{\mathcal{R}} , \qquad (4.11)$$

ceea ce arată că fluxul magnetic este egal cu *forţa magnetomotoare împărţită prin valoarea reluctanţei magnetice.*

Forţa magnetomotoare nu este o forţă mecanică, ci trebuie considerată drept cauza care produce fluxul magnetic. Deoarece

cu cît reluctanța este mai mare, cu atît fluxul magnetic este mai mic, se vede că mărimea numită reluctanță se comportă ca o rezistență magnetică față de flux. Formula de mai înainte se aseamănă cu formula corespunzătoare legii lui Ohm.

Drumul pe care-l parcurg liniile de forță magnetică (fig. 4—26) se numește *circuit magnetic*. Din această cauză, relația de mai înainte care dă valoarea fluxului magnetic Φ în funcție de forța magnetomotoare $\mathcal{F}$ și de reluctanța magnetică $\mathcal{R}$, poartă numele de *legea circuitului magnetic*, după cum legea lui Ohm este *legea circuitului electric*.

Fluxul magnetic Φ determinat prin legea circuitului magnetic corespunde nu numai unei spire a bobinei din figura 4—26, dar *oricărei secțiuni drepte S* prin inelul de oțel, dat fiind că aceleași linii magnetice trec prin oricare asemenea secțiune.

În figura 4—27 s-a presupus că miezul de oțel este întrerupt pe o porțiune mică avînd lungimea l_a. În acest caz, circuitul magnetic este constituit din două medii diferite, și anume o porțiune de oțel de lungime l_o și o porțiune de aer de lungime l_a. Porțiunea de aer din circuitul magnetic se numește *întrefier*.

Fig. 4-27. Circuit magnetic inelar cu întrefier.

În acest caz, în formula corespunzătoare legii circuitului magnetic trebuie să se introducă pentru reluctanță doi termeni, și anume un termen egal cu reluctanța porțiunii de oțel, adică:

$$\frac{l_o}{\mu \cdot S}$$

și un al doilea termen egal cu reluctanța porțiunii de aer, adică:

$$\frac{l_a}{\mu_0 \cdot S}.$$

Legea circuitului magnetic se scrie în acest caz:

$$\Phi = \frac{\mathcal{F}}{\mathcal{R}} = \frac{n\,I}{\dfrac{l_o}{\mu \cdot S} + \dfrac{l_a}{\mu_0 \cdot S}} \qquad (4.12)$$

Dacă, în general, se presupune că de-a lungul unui circuit magnetic oarecare există diverse porțiuni cu lungimile l_1, l_2,...

secțiunile S_1, S_2,... și permeabilitățile magnetice μ_1, μ_2,.... relația de mai înainte se poate scrie:

$$\Phi = \frac{n\,I}{\frac{l_1}{\mu_1 \cdot S_1} + \frac{l_2}{\mu_2 \cdot S_2} + \cdots} \qquad (4.13)$$

Introducerea unui întrefier are drept efect o mărire importantă a reluctanței circuitului magnetic. Circuitele magnetice cu întrefier se întîlnesc în aplicațiile practice, în special la mașinile electrice. La aceste mașini, calculul fluxului magnetic se bazează pe legea circuitului magnetic. La mașinile electrice este necesar să se obțină un flux magnetic cît mai mare. În acest scop, între altele, se micșorează reluctanța magnetică, făcîndu-se întrefierul circuitului magnetic respectiv cît mai redus, după cum se va arăta la studiul mașinilor electrice.

10. Forța portantă a electromagnetului

Printre diversele aplicații practice ale electromagnetului există și utilizarea lui ca macara pentru transportarea pieselor de oțel, care sînt atrase de electromagnet. Forța maximă cu care un astfel de electromagnet poate atrage o armătură de oțel se numește *forță portantă*. Valoarea acestei forțe portante indică și valoarea greutății piesei ce poate fi ridicată de către electromagnet. În figura 4—28 s-a presupus un electromagnet în formă de potcoavă, avînd în fața polilor săi o armătură de oțel. Expresia care dă valoarea forței portante este în acest caz următoarea:

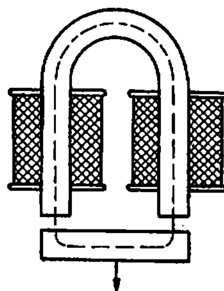


Fig. 4-28. Electromagnet pentru ridicare de greutăți.

$$F = \frac{B^2\,S}{\mu_0}, \qquad (4.14)$$

în care:

B este inducția magnetică în întrefierul dintre armătură și poli, în tesla;

S — suprafața secțiunii străbătute de liniile magnetice ale unui pol, în metri pătrați;

μ_0 — permeabilitatea magnetică a întrefierului, egală cu $4\,\pi/10^7$ unități de permeabilitate.

Forța portantă F rezultă în newtoni.

Capitolul V

Inducția electromagnetică

1. Producerea forței electromotoare de inducție prin variația fluxului magnetic în spire

Se consideră (fig. 5—1) o bobină la bornele căreia este legat un aparat A, care poate indica trecerea unui curent electric. Dacă se introduce, de exemplu de sus în jos, un magnet M în bobină, se observă că, în timpul deplasării magnetului, prin bobină trece un curent electric. După ce magnetul s-a oprit, curentul dispare (acul aparatului A revine la zero). Dacă se scoate magnetul din bobină, se observă din nou trecerea unui curent electric, de sens contrar cu primul (acul aparatului A deviază în sens contrar față de prima dată). După ce magnetul a fost scos complet din bobină și îndepărtat, curentul se anulează din nou.

În timpul în care magnetul nu era introdus în bobină, spirele bobinei nu erau străbătute de linii de forță magnetică, adică fluxul magnetic prin aceste spire era nul. Pe măsura introducerii magnetului, numărul de linii de forță care străbătea fiecare spiră *a crescut*, astfel că la sfîrșit fluxul magnetic prin fiecare spiră a devenit

$$\Phi = B \cdot S$$

în care B este inducția magnetică corespunzătoare cîmpului magnetic din interiorul fiecărei spire, în momentul cînd magnetul era complet introdus în bobină, iar S, suprafața unei spire.

M A B

Fig. 5-1. Inducția electromagnetică prin introducerea unui magnet într-o bobină.

Cît timp magnetul a rămas în interiorul bobinei, fluxul magnetic prin fiecare spiră a rămas constant și egal cu valoarea arătată mai înainte. În timpul scoaterii magnetului, fluxul magnetic *a descrescut* din nou pînă la zero.

Din cele arătate se trage următoarea concluzie: *Cînd fluxul magnetic dintr-o spiră variază, în spiră ia naștere o forță electromotoare, care produce un curent electric.* Acest fenomen poartă numele de *inducție electromagnetică.* Forța electromotoare și curentul care iau naștere prin inducție electromagnetică se numesc *forță electromotoare* și *curent de inducție.*

Dacă printr-o spiră, fluxul magnetic variază uniform de la valoarea Φ_1 la valoarea Φ_2 în timpul care trece de la momentul t_1 la t_2, valoarea forței electromotoare de inducție este:

$$E = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{t_2 - t_1}. \tag{5.1}$$

Dacă se notează*: $\Delta \Phi = \Phi_2 - \Phi_1$

și:

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

relația (5.1) se poate scrie:

$$E = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}. \tag{5.2}$$

Relația (5.2) reprezintă legea de bază a inducției electromagnetice, care se poate enunța astfel: *Forța electromotoare de inducție ce apare într-o spiră este egală cu variația fluxului magnetic din spiră în raport cu timpul, luată cu semn schimbat.* Dacă fluxul se măsoară în weberi și timpul în secunde, forța electromotoare se obține în volți.

Pentru o bobină cu n spire, ca în figura 5—1, forța electromotoare de inducție totală E_t va fi de n ori mai mare, adică:

$$E_t = n \cdot E = -n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}. \tag{5.3}$$

Sensul forței electromotoare de inducție în spiră se determină cu ajutorul *legii lui Lenz*, care se poate enunța astfel: *Efectul tinde totdeauna să se opună cauzei care l-a produs.*

---

* Semnul Δ reprezintă litera mare grecească ce se citește „délta".

În figura 5—2, *a* se consideră o spiră străbătută de linii de forță magnetică, de exemplu de jos în sus și se presupune că valoarea inducției magnetice crește. În acest caz, fluxul magnetic respectiv Φ_1 crește și are sensul de jos în sus. Variația fluxului produce în spiră o forță electromotoare și un curent de inducție.

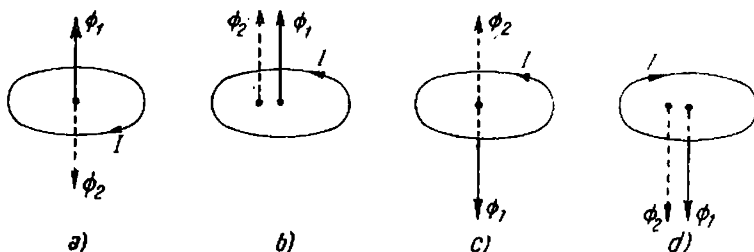


Fig. 5-2. Sensul forței electromotoare de inducție.

Sensul acestui curent I este astfel, încît fluxul Φ_2 produs de I să se opună cauzei care l-a produs, adică variației (creșterii) fluxului Φ_1. Rezultă că fluxul Φ_2 trebuie să aibă un sens contrar fluxului Φ_1, adică de sus în jos. Sensul curentului I, ce dă naștere fluxului Φ_2, se obține cu ajutorul regulii burghiului, care arată că I are sensul orar, ca și forța electromotoare de inducție care-l produce.

În figura 5—2, *b* spira este străbătută de linii de forță magnetică tot de jos în sus, dar se presupune că valoarea inducției magnetice scade. În acest caz, fluxul Φ_1 scade și în spiră apare o forță electromotoare de inducție care produce un curent de inducție I. Sensul curentului este astfel, încît fluxul Φ_2 produs de I să se opună cauzei care l-a produs, adică variației (scăderii) fluxului Φ_1. Pentru aceasta, trebuie ca fluxul Φ_2 să întărească fluxul Φ_1, adică să aibă același sens — de jos în sus — ca fluxul Φ_1. Cunoscînd sensul fluxului Φ_2, se poate determina sensul curentului de inducție I (și deci al forței electromotoare de inducție), aplicînd regula burghiului; se obține sensul antiorar.

În mod analog se procedează și în cazul din figura 5—2, *c*, unde fluxul magnetic Φ_1 este dirijat de sus în jos și crește, precum și în cazul din figura 5—2, *d*, unde Φ_1 este dirijat tot de sus în jos, dar scade. Pentru forța electromotoare și curentul de inducție se obțin sensul antiorar în figura 5—2, *c* și sensul orar în figura 5—2, *d*.

În figura 5—3 este reprezentat un aparat numit *bobină de inducție*, care funcționează pe baza fenomenului de inducție electromagnetică. În jurul barei de oțel moale O se găsește înfășurarea P cu un număr relativ mic de spire mai groase și izolate. În jurul acestei înfășurări se găsește o a doua înfășurare S cu un număr mult mai mare de spire subțiri, de asemenea izolate. În circuitul înfășurării P se montează bateria B și întreruptorul I_r.

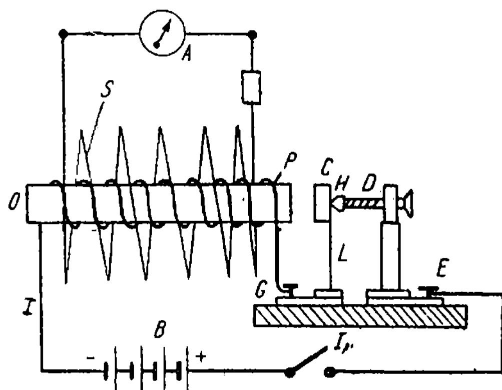


Fig. 5–3. Bobină de inducție.

Cînd se închide întreruptorul I_r, un curent electric trece de la baterie, prin întreruptorul I_r, borna E, șurubul de reglare D, piesa de oțel C, lama de oțel L, borna G și înfășurarea P, din nou la baterie. Oțelul moale O, magnetizîndu-se, atrage armătura C, întrerupînd astfel circuitul; bara de oțel se demagnetizează iar lama L readuce armătura în poziția inițială, restabilindu-se circuitul ș.a.m.d. Atît timp cît întreruptorul I_r este închis, curentul I din înfășurarea P se stabilește și se întrerupe periodic.

În momentul în care trece curent prin înfășurarea P, apare un cîmp magnetic produs de curent, iar liniile magnetice ale cîmpului străbat atît înfășurarea P, cît și înfășurarea S. În consecință, în înfășurarea S fluxul magnetic *variază* periodic de la zero la o anumită valoare (cînd se stabilește curentul I în înfășurarea P) și de la această valoare la zero (cînd se anulează curentul I). Din această cauză, în înfășurarea S apare o forță electromotoare de inducție, care produce un curent de inducție dacă circuitul S este închis. Cînd fluxul magnetic crește, forța electromotoare de inducție are un anumit sens, iar cînd scade, are sensul contrar, adică este *alternativă*.

Bobina de inducție servește la transformarea unei tensiuni continue mici la bornele bateriei B într-o tensiune alternativă mare la bornele circuitului S.

Aplicația 5-1. O bobină cu axa rectilinie, care are $n = 300$ spire și un diametru mediu $d = 5$ cm, este străbătută de liniile de forță ale unui cîmp magnetic după direcția axei sale, cîmpul avînd inducția magnetică $B = 2$ *T*. În cît timp trebuie să se anuleze cîmpul magnetic, pentru ca în bobină să ia naștere o forță electromotoare de inducție $E = 10$ V?

R e z o l v a r e. Dacă S este suprafața spirei, fluxul magnetic care străbate bobina este:

$$\Phi_1 = n \cdot B \cdot S = n \cdot B \cdot \frac{\pi d^2}{4} = 300 \cdot 2 \frac{\pi\, 0{,}05^2}{4} = 1{,}18 \text{ Wb}.$$

Din legea inducției electromagnetice:

$$E = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{\Phi_2 - \Phi_1}{\Delta t} = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{\Delta t} = \frac{\Phi_1 - 0}{\Delta t}$$

rezultă:

$$\Delta t = \frac{1{,}18}{10} = 0{,}118 \text{ s}.$$

2. Producerea forței electromotoare de inducție prin tăierea de către un conductor a liniilor de forță magnetice

În figura 5—4 este reprezentat un conductor de lungime l, care face parte dintr-un circuit; se presupune că acest conductor este introdus de jos în sus într-un cîmp magnetic cu inducția magnetică B, ale cărei linii de forță magnetice sînt perpendiculare pe direcția conductorului. Se presupune de asemenea că forța F care deplasează conductorul este perpendiculară pe planul format de direcția conductorului și direcția liniilor de forță.

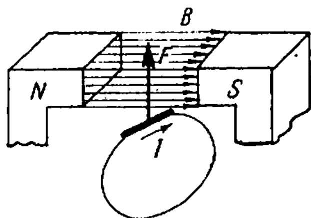


Fig. 5-4. Conductor care taie linii magnetice de forță.

Pe măsură ce conductorul pătrunde în cîmpul magnetic, un număr din ce în ce mai mare de linii de forță trece prin conturul închis de circuitul din care face parte conductorul, astfel încît fluxul magnetic prin acest contur crește; în circuit și deci prin conductor trece un curent de inducție I, datorit unei forțe electromotoare de inducție ce ia naștere în conductorul care *taie* liniile de forță.

Dacă conductorul de lungime l s-a deplasat în intervalul de timp Δt cu distanța d în cîmpul magnetic, el a descris suprafața:

$$S = l.\, d.$$

Fluxul magnetic care străbate planul circuitului din care face parte conductorul a variat (a crescut) în intervalul de timp Δt de la o valoare Φ_1 la altă valoare Φ_2, iar:

$$\Phi_1 - \Phi_2 = B \cdot S.$$

Din cauza variației fluxului magnetic, apare în conductor forța electromotoare de inducție:

$$E = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{\Delta t} = \frac{B \cdot S}{\Delta t} = B \cdot l \frac{d}{\Delta t}.$$

Deoarece:

$$\frac{d}{\Delta t} = v$$

este viteza de deplasare a conductorului, rezultă:

$$E = B \cdot l \cdot v. \qquad (5.4)$$

În consecință, *cînd un conductor taie linii de forță magnetică, în acel conductor apare o forță electromotoare de inducție a cărei valoare este dată de produsul dintre valoarea inducției magnetice, a lungimii conductorului în cîmp și a vitezei conductorului.* Dacă se măsoară inducția magnetică în tesla, lungimea conductorului în metri și viteza sa în metri pe secundă, forța electromotoare se obține în volți.

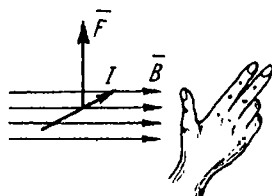


Fig. 5 – 5. Regula mîinii drepte pentru aflarea sensului forței electromotoare de inducție.

Conform legii lui Lenz, sensul forței electromotoare E este astfel încît tinde să producă un curent I, care, la rîndul lui, să dea naștere la o forță electromagnetică ce se opune cauzei, adică forței F, care deplasează conductorul în cîmp. În figura 5 — 4, deoarece forța F este dirijată în sus, forța electromagnetică, ce se opune acestei deplasări, va trebui să fie dirijată în jos. Conform regulii cunoscute

dacă forța electromagnetică este dirijată în jos, sensul curentului și al forței electromotoare va fi din fața planului hîrtiei înspre spatele acestui plan.

Sensul forței electromotoare de inducție se poate afla și cu ajutorul *regulii mîinii drepte*: *Dacă se așază mîna dreaptă desfăcută, astfel încît liniile magnetice să fie dirijate spre palmă, iar degetul mare în direcția forței de deplasare a conductorului, sensul forței electromotoare de inducție (și a curentului ce poate fi produs) este dat de direcția degetului arătător* (fig. 5—5).

Aplicația 5–2. Un conductor cu o lungime $l = 10$ cm este deplasat ca în figura 5–4, cu o viteză $v = 15$ cm/s într-un cîmp magnetic caracterizat prin inducția magnetică $B = 1{,}5$ T. Conductorul este legat la capetele sale printr-un fir cu o lungime $l' = 25$ cm, care nu este activ în ceea ce privește producerea forței electromotoare de inducție. Întregul circuit este confecționat din cupru, cu o secțiune $s = 2{,}5$ mm². Care este intensitatea I a curentului de inducție din circuit?

Rezolvare. Forța electromotoare de inducție este:

$$E = B \cdot l \cdot v = 1{,}5 \cdot 0{,}1 \cdot 0{,}15 = 0{,}0225 \text{ V}.$$

Dacă ρ este rezistivitatea cuprului, rezistența totală a circuitului este:

$$R = \rho \frac{l + l'}{s} = \frac{1}{56} \frac{0{,}1 + 0{,}25}{2{,}5} = 0{,}0025 \ \Omega.$$

Conform legii lui Ohm, curentul în circuit este:

$$I = \frac{E}{R} = \frac{0{,}0225}{0{,}0025} = 9 \text{ A}.$$

3. Curenți turbionari (Foucault)

O piesă prismatică din oțel moale este înconjurată de un fir metalic izolat ca în figura 5—6. Dacă prin înfășurare trece un curent electric a cărui intensitate I variază în timp, el va produce în oțel un cîmp magnetic și deci un flux magnetic variabil în timp.

Masa de oțel se comportă ca un mare număr de circuite închise străbătute de un flux magnetic variabil. Din această cauză, în circuite iau naștere forțe electromotoare de inducție, care produc la rîndul lor curenți de inducție i numiți *turbionari*, din cauza formei lor de vîrtej (sau turbion). În figura 5—6, curenții din planul frontal superior al piesei sînt arătați prin

săgeţi. Trecerea curenţilor prin oţel creează pierderi conform legii Lenz-Joule.

În piesele de oţel ale maşinilor electrice se produc de multe ori astfel de pierderi prin curenţi turbionari. Pentru a micşora aceste pierderi, piesele de oţel se fabrică din tole subţiri de oţel, izolate între ele prin foiţe de hîrtie sau lac izolant (fig. 5—7). În felul acesta se intercalează în drumul curenţilor o rezistenţă importantă care le reduce mult valoarea.

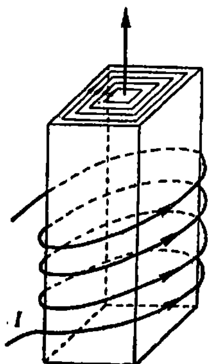


Fig. 5-6. Producerea curenţilor turbionari.

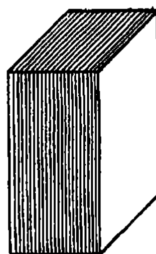


Fig. 5-7. Miez din tole de oţel izolate.

Dacă inducţia magnetică care produce fluxul magnetic din oţel variază periodic între un maximum şi un minimum, pierderea de putere prin curenţi turbionari este proporţională cu greutatea oţelului şi este dată de relaţia:

$$P \doteq k\left(\frac{f}{100}\cdot B_m \cdot d\right)^2 \text{ W/kgf}$$

unde:

B_m este valoarea inducţiei maxime, în tesla;

f — numărul de cicluri pe secundă referitqare la variaţia inducţiei magnetice;

d — grosimea tolelor, în milimetri;

k — un coeficient egal cu aproximativ 22 pentru oţel obişnuit electrotehnic şi 4,8 pentru oţel aliat, la o grosime a tolelor de 0,5 mm.

Adăugînd la pierderile prin curenţi turbionari şi pierderile prin histerezis, se obţin pierderile *totale* în oţelul maşinilor electrice.

4. Inducția proprie

În figura 5—8 se consideră o spiră parcursă de curentul i. Acest curent dă naștere la un cîmp magnetic, astfel încît prin spiră trece fluxul magnetic Φ. Inducția magnetică, deci și fluxul Φ fiind proporționale cu curentul respectiv, se poate scrie:

$$\Phi = L \cdot i, \tag{5.5}$$

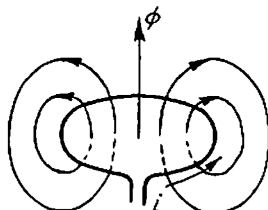


Fig. 5-8. Fenomenul de inducție proprie.

în care L este un factor de proporționalitate, care depinde de permeabilitatea magnetică a mediului (în cazul aerului, μ_0) și de forma și dimensiunile geometrice ale circuitului.

Dacă curentul i variază, fluxul Φ variază de asemenea. Spira fiind străbătută de un flux magnetic variabil, va apare în ea o forță electromotoare de inducție, numită *de inducție proprie* sau de *autoinducție*, deoarece este produsă prin variația curentului din propriul său circuit. Factorul L poartă numele de *inductanța* proprie a circuitului. Din relația (5.5) rezultă:

$$L = \frac{\Phi}{i}. \tag{5.6}$$

Dacă fluxul Φ se măsoară în weberi, iar curentul i în amperi rezultă pentru inductanța L o unitate de măsură numită *henry* (H).

Considerînd că în intervalul de timp Δt, intensitatea curentului a variat cu Δi, relația (5.5) arată că, în același interval de timp, fluxul magnetic a variat cu:

$$\Delta\Phi = L \cdot \Delta i.$$

În consecință, valoarea forței electromotoare de autoinducție este:

$$E = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -L\frac{\Delta i}{\Delta t}.$$

Dacă o bobină de n spire este străbătută de curentul i, curentul creează un cîmp magnetic, ale cărui linii de forță magnetică parcurg un anumit traseu numit, după cum se știe, circuit magnetic. Dacă reluctanța magnetică a acestui circuit este $\mathfrak{R}$, con-

form legii circuitului magnetic, fluxul magnetic Φ care trece prin fiecare spiră este:

$$\Phi = \frac{n \cdot i}{\mathfrak{R}}.$$

Fluxul magnetic total Φ_t care trece prin cele n spire va fi:

$$\Phi_t = n \cdot \Phi = \frac{n^2 \cdot i}{\mathfrak{R}}.$$

Dacă se notează cu L inductanța întregii bobine, conform cu (5.6) rezultă:

$$L = \frac{\Phi_t}{i} \doteq \frac{n^2}{\mathfrak{R}}. \qquad (5.7)$$

Inductanța unei bobine este deci direct proporțională cu pătratul numărului de spire și invers proporțională cu reluctanța. Reluctanța este invers proporțională cu permeabilitatea magnetică, astfel încît inductanța este direct proporțională cu permeabilitatea magnetică. Din această cauză o bobină cu miez de oțel are o inductanță cu mult mai mare decît o bobină fără miez.

Din cauza fenomenului de inducție proprie, orice variație de curent dintr-un circuit dă naștere la o forță electromotoare de autoinducție, care se opune cauzei care o produce, adică se opune variației curentului, întîrziind această variație.. Acest fenomen de *inerție electrică* se poate observa mai ales la întreruperea curentului dintr-un circuit. Cînd se deschide un întreruptor, curentul nu dispare instantaneu, ci — din cauza fenomenului de autoinducție — caută să se mai mențină, ceea ce face să apară scîntei electrice între piesele întreruptorului.

S-a văzut în capitolul I că în cîmpul electric al unui condensator este acumulată o anumită cantitate de energie. În mod analog, în cîmpul magnetic al unei bobine cu inductanța L (henry), parcursă de curentul I (amperi) se găsește acumulată o cantitate de energie (jouli) egală cu:

$$\frac{1}{2} L I^2.$$

Aplicația 5-3. O bobină dreaptă are $n = 300$ spire, iar diametrul mediu al bobinei este $d = 5$ cm. Cînd înfășurarea bobinei este parcursă de un curent $I = 8$ A, inducția magnetică în interiorul său de-a lungul axei sale longitudinale este $B = 1{,}6$ T. Care este inductanța proprie L a bobinei?

R e z o l v a r e. **Fluxul** magnetic prin bobină este:

$$\Phi = n \cdot B \frac{\pi d^2}{4} = 300 \cdot 1{,}6 \frac{\pi \cdot 0{,}05^2}{4} = 0{,}942 \text{ Wb}.$$

In consecință:

$$L = \frac{\Phi}{I} = \frac{0{,}942}{8} = 0{,}118 \text{ H}.$$

5. Inducția mutuală

Se consideră un miez de oțel moale cu două înfășurări ca în figura 5—9. Bobina *1* are n_1 spire iar bobina *2* are n_2 spire. Dacă prin bobina *1* trece curentul I_1, fluxul magnetic produs va fi:

$$\Phi_1 = \frac{n_1 \cdot I_1}{\mathfrak{R}}$$

în care $\mathfrak{R}$ este reluctanța circuitului magnetic.

Fluxul Φ_1 trece și prin fiecare spiră a bobinei 2. Prin toate cele n_2 spire ale acestei bobine va trece deci fluxul magnetic:

$$\Phi_{12} = n_2\Phi_1 = \frac{n_1 \cdot n_2}{\mathfrak{R}} I_1 = M \cdot I_1.$$

Conform acestei relații, fluxul Φ_{12} este proporțional cu curentul I_1; s-a notat cu M factorul de proporționalitate între curentul I_1 și fluxul Φ_{12}:

$$M = \frac{n_1 \cdot n_2}{\mathfrak{R}}. \tag{5.8}$$

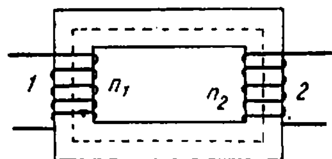


Fig. 5-9. Bobine cu miez comun din oțel.

Dacă bobina *2* este parcursă de curentul I_2, fluxul magnetic produs de bobina *2* prin fiecare spiră a bobinei *1* este:

$$\Phi_2 = \frac{n_2 \cdot I_2}{\mathfrak{R}}.$$

Prin toate cele n_1 spire ale bobinei *1* va trece deci fluxul magnetic:

$$\Phi_{21} = n_1\Phi_2 = \frac{n_1 \cdot n_2}{\mathfrak{R}} I_2 = M \cdot I_2.$$

În mod analog, dacă se consideră în general două circuite oarecare C_1 şi C_2 (fig. 5—10), parcurse respectiv de curenţii I_1 şi I_2, fluxul magnetic produs de curentul I_1 din circuitul C_1 şi care străbate circuitul C_2 este:

$$\Phi_{12} = M \cdot I_1, \qquad (5.9)$$

iar fluxul magnetic produs de curentul I_2 din circuitul C_2 şi care străbate circuitul C_1 este:

$$\Phi_{21} = M \cdot I_2. \qquad (5.10)$$

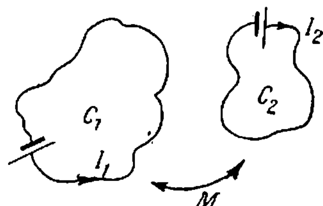


Fig. 5-10. Inductanţa mutuală a două circuite.

Se observă că în expresia fluxurilor magnetice Φ_{12} şi Φ_{21} *apare acelaşi* factor de proporţionalitate M. Mărimea M poartă numele de *inductanţa mutuală* a celor două circuite şi se măsoară tot în henry ca şi inductanţa L.

Inductanţa mutuală depinde de permeabilitatea magnetică a mediului, de forma şi de dimensiunile geometrice ale circuitelor şi de poziţia lor reciprocă. Dacă în figura 5—10, curentul I_1 variază de exemplu cu ΔI_1, în intervalul de timp Δt apare în circuitul C_2 o forţă electromotoare indusă de circuitul C_1 şi denumită forţă electromotoare de *inducţie mutuală*:

$$E_{12} = -\frac{\Delta \Phi_{12}}{\Delta t} = -M\frac{\Delta I_1}{\Delta t} \qquad (5.11)$$

unde $\Delta\Phi_{12}$ reprezintă variaţia corespunzătoare a fluxului magnetic Φ_{12}.

În mod analog, dacă curentul I_2 variază cu ΔI_2, în circuitul C_1 apare o forţă electromotoare de inducţie mutuală:

$$E_{21} = -\frac{\Delta \Phi_{21}}{\Delta t} = -M\frac{\Delta I_2}{\Delta t}. \qquad (5.12)$$

Aplicaţia 5-4. Se consideră două bobine drepte, goale în interior. Dacă în prima bobină, în intervalul de timp $\Delta t_1 = 1/25$ s, curentul creşte de la zero la $I_1 = 5$ A, în a doua bobină apare o forţă electromotoare de inducţie mutuală $E_2 = 5$ V. Să se determine forţa electromotoare de inducţie mutuală E_1, care apare în prima bobină, atunci cînd într-un interval de timp $\Delta t_2 = 1/15$ s, curentul în a doua bobină creşte de la zero la $I_2 = 10$ A.

Rezolvare. Cînd curentul din prima bobină creşte de la zero la $I_1 = 5$ A, fluxul magnetic în a doua bobină creşte de la zero la valoarea:

$$\Phi_{12} = M \cdot I_1 = M \cdot 5 \text{ Wb}$$

în care M este inductanţa mutuală între cele două bobine.

Conform legii inducției electromagnetice:

$$E_2 = \frac{5 \cdot M}{\Delta t_1} = \frac{5 \cdot M}{\frac{1}{25}},$$

de unde:

$$M = \frac{\frac{1}{25} \cdot E_2}{5} = \frac{\frac{1}{25} \cdot 5}{5} = 0{,}04 \text{ H}.$$

Cînd curentul din a doua bobină crește de la zero la $I_2 = 10$ A, fluxul magnetic în prima bobină crește de la zero la valoarea:

$$\Phi_{21} = M \cdot I_2 = 0{,}04 \cdot 10 = 0{,}4 \text{ Wb}.$$

Forța electromotoare de inducție mutuală în prima bobină va fi:

$$E_1 = \frac{0{,}4}{\frac{1}{15}} = 6 \text{ V}.$$

6. Cuplajul bobinelor

Ținînd seama de relația (5.7) rezultă că inductanțele bobinelor din figura 5—9 sînt:

$$\left.\begin{aligned} L_1 &= \frac{n_1^2}{\mathcal{R}} \\ L_2 &= \frac{n_2^2}{\mathcal{R}} \end{aligned}\right\} \qquad (5.13)$$

Relația (5.8) arată valoarea inductanței mutuale M a celor două bobine. Din relațiile (5.8) și (5.13) rezultă:

$$M = \sqrt{L_1 \cdot L_2}. \qquad (5.14)$$

Relația (5.14) este valabilă numai dacă întregul flux magnetic produs de bobina *1* trece și prin bobina *2* și dacă întregul flux magnetic produs de bobina *2* trece și prin bobina *1*, adică nu avem *scăpări de flux*.

Între două bobine există însă practic scăpări de flux, mai ales dacă bobinele nu au același miez. În acest caz, relația (5.14) devine:

$$M = k\sqrt{L_1 \cdot L_2} \qquad (5.15)$$

în care k este subunitar și se numește coeficient de cuplaj magnetic al celor două bobine.

Capitolul VI

Unități de măsură

Pentru mărimile electrice și magnetice întîlnite s-au precizat unitățile de măsură corespunzătoare. Toate aceste unități fac parte dintr-un anumit *sistem de unități*. În domeniul unei anumite științe există cîteva unități de măsură numite *fundamentale*, din care derivă apoi toate celelalte unități. Se caută să se aleagă astfel unitățile, încît legile științei respective să poată fi exprimate prin relații cît mai simple.

În domeniul mecanicii există, de exemplu, sistemul de unități numit sistemul practic MKS. Acest sistem are ca unități de măsură fundamentale metrul pentru lungime, kilogramul masă (notat kg) pentru masă și secunda pentru timp. Denumirea MKS provine de la inițialele celor trei cuvinte: metru, kilogram, secundă. Toate celelalte unități ale acestui sistem derivă din cele trei unități fundamentale. De exemplu, viteza se măsoară în metri pe secundă (m/s), volumul se măsoară în metri cubi (m^3) etc. În domeniul electricității și al magnetismului, pentru a se putea obține toate unitățile de măsură necesare, trebuie să se aleagă încă o unitate fundamentală. Din această cauză, se utilizează în acest domeniu sistemul de unități de măsură denumit MKSA, unde pentru a patra unitate fundamentală s-a ales amperul.

Există două sisteme MKSA. În primul, denumit sistemul MKSA *raționalizat*, permeabilitatea magnetică a vidului este dată de:

$$\mu_0 = \frac{4\pi}{10^7} \text{ unități de permeabilitate.}$$

În cel de-al doilea, numit sistemul MKSA *neraționalizat* (sau clasic), permeabilitatea magnetică a vidului este dată de:

$$\mu_0 = 10^{-7} \text{ unități de permeabilitate.}$$

În acest manual se utilizează sistemul MKSA raționalizat. Sînt unele legi care nu se exprimă prin aceleași relații în ambele sisteme MKSA. În sistemul MKSA raționalizat, legile care se utili-

zează mai frecvent se exprimă însă mai simplu decît în sistemul MKSA clasic.

Sistemele MKSA au întrebuinţare generală. În lucrările ştiinţifice se poate întrebuinţa şi sistemul denumit CGS, care are ca unităţi de măsură fundamentale: centimetrul pentru lungime, gramul masă (notat cu g) pentru masă şi secunda pentru timp. Trecîndu-se în domeniul electricităţii şi al magnetismului, ar fi trebuit să se aleagă şi o a patra unitate fundamentală, în felul cum s-a făcut pentru sistemele MKSA.

Totuşi, pentru a se obţine o simplificare, s-a făcut următoarea convenţie: permeabilitatea magnetică a vidului, μ_0, este egală cu un simplu număr şi anume 1. Permeabilitatea magnetică μ a unui mediu oarecare, de exemplu a oţelului, va fi egală cu alt număr, care, evident, va arăta raportul dintre permeabilitatea magnetică a acestui mediu şi aceea a vidului.* Sistemul de unităţi astfel constituit se numeşte *sistemul CGS*μ_0 *sau CGS electromagnetic*, deoarece are avantajul de a reda sub o formă simplificată relaţiile care se referă la fenomenele din electromagnetism.

Sistemul CGS electromagnetic nu este însă avantajos din punctul de vedere al simplificării relaţiilor în domeniul fenomenelor electrostaticii. Din această cauză, pentru relaţiile din domeniul acestor fenomene s-a făcut convenţia: permitivitatea vidului ε_0, (constanta dielectrică), este egală cu 1, un simplu număr.** Sitemul de unităţi care utilizează această convenţie se numeşte *sistemul CGS*ε_0 *sau CGS electrostatic* şi are avantajul de a reda sub o formă mai simplificată relaţiile care se referă la fenomenele electrostatice.

În tabela 6—1 se dau valorile permeabilităţii magnetice a vidului (μ_0) şi a permitivităţii vidului (ε_0) în diversele sisteme de unităţi menţionate.

În tabela 6—2 se dau cele mai frecvente unităţi din sistemul MKSA raţionalizat, precum şi legătura cu sistemul CGSμ_0, deoarece aceste sisteme sînt cele mai utilizate.

În afară de unităţile electrice şi magnetice arătate în tabelele de mai înainte pentru sistemele de unităţi respective, se mai folosesc şi o serie de multipli şi submultipli zecimali. Dintre aceştia, se dau mai departe, cei mai frecvenţi:

kilovolt (kV), 1 kV = 1 000 V; milihenry (mH), 1 mH = $= 10^{-3}$H; milivolt (mV), 1 mV = 10^{-3}V; microfarad (μF),

*) Aceasta este echivalent cu a spune că permeabilitatea magnetică are ca unitate de măsură permeabilitatea magnetică a vidului (μ_0).

**) Aceasta este echivalent cu a spune că permitivitatea are ca unitate de măsură permitivitatea vidului (ε_0).

$1\ \mu F = 10^{-6}\ F$; miliamper (mA), $1\ mA = 10^{-3}\ A$; kilowatt (kW), $1\ kW = 10^3\ W$.

Cînd se introduc astfel de multipli şi submultipli în relaţiile utilizate, trebuie să se facă transformările numerice necesare, deoarece altfel apar greşeli mari.

Tabela 6-1

Valorile permeabilităţii magnetice şi a permitivităţii vidului

	Sistemul MKSA		Sistemul $CGS\mu_0$	Sistemul $CGS\varepsilon_0$
	Raţionalizat	Clasic	Clasic	
ε_0	$\frac{1}{4\cdot\pi\cdot 9\cdot 10^9}$	$\frac{1}{9\cdot 10^9}$	$\frac{1}{9\cdot 10^{20}}$	1
μ_0	$\frac{4\pi}{10^7}$	$\frac{1}{10^7}$	1	$\frac{1}{9\cdot 10^{20}}$

Tabela 6-2

Unităţi de măsură MKSA

Mărimea	Denumirea	Simbolul	Legătura cu sistemul $CGS\mu_0$
	MKSA		
	Unităţi fundamentale		
Lungime	Metru	m	1 m = 100 cm
Masă	Kilogram	kg	1 kg = 1 000 g
Timp	Secunda	s	La fel ca în MKSA
Intensitatea curentului	Amper	A	$1\ A = 10^{-1}\ CGS\ \mu_0$
Unităţi mecanice utilizate în Electricitate şi Magnetism			
Forţă	Newton	N	$1\ N = 10^5$ dyne
Energie	Joule	J	$1\ J = 10^7$ ergi
Putere	Watt	W	$1\ W = 10^7$ ergi/s
Frecvenţă	Hertz (perioade pe secundă)	Hz	La fel ca în MKSA

Mărimea	Denumirea (MKSA, Unități fundamentale)	Simbolul	Legătura cu sistemul $CGS\mu_0$
Unități electrice			
Cantitate de electricitate (sarcină electrică)	Coulomb	C	1 C = 10^{-1} $CGS\mu_0$
Tensiunea electrică (diferență de potențial) Potențial. Forță electromotoare (tensiune electromotoare)	Volt	V	1 V = 10^8 $CGS\mu_0$
Rezistența electrică	Ohm	Ω	1 Ω = 10^9 $CGS\mu_0$
Capacitate	Farad	F	1 F = 10^{-9} $CGS\mu_0$
Cîmp electric	Volt pe metru	V/m	1 V/m = 10^6 $CGS\mu_0$
Unități magnetice			
Flux de inducție magnetică	Weber	Wb	1 Wb = 10^8 Mx (unitate $CGS\mu_0$ numită maxwell)
Inducție magnetică	Tesla *)	T	1 T = 10^4 Gs (unitate $CGS\mu_0$, numită gauss)
Intensitatea cîmpului magnetic	Amper-spiră pe metru	A . sp/m	1 A . sp/m = 4π 10^{-3} Oersted (unitate $CGS\mu_0$, notată cu Oe)
Inductanță	Henry	H	1 H = 10^9 $CGS\mu_0$

*) Se reamintește că: $1\ T = \frac{1\ Wb}{1\ m^2}$

Aplicația 6-1. O bobină inelară are diametrul mediu al inelului de 20 cm. Numărul spirelor este $n = 400$. Intensitatea cîmpului magnetic în interiorul bobinei este $H = 18$ Oe. Care este intensitatea curentului electric, măsurată în amperi, ce trece prin înfășurarea bobinei?

R e z o l v a r e. Lungimea cercului mediu al inelului este:

$$l = 3{,}14 \cdot 0{,}2 = 0{,}628\ m.$$

Dacă se notează cu I, în amperi, curentul electric în bobină, pentru intensitatea cîmpului magnetic rezultă valoarea:

$$\frac{n}{l} I = \frac{400}{0,628} I \text{ A} \cdot \text{sp/m}.$$

Deoarece:

$$1 \text{ A} \cdot \text{sp/m} = 4 \pi \cdot 10^{-3} \text{ Oe}$$

se poate scrie:

$$\frac{400}{0,628} I \cdot 4\pi \cdot 10^{-3} = 18 \text{ Oe}$$

de unde:

$$I = \frac{18 \cdot 0,628}{400 \cdot 4\pi \cdot 10^{-3}} = 2,25 \text{ A}.$$

Capitolul VII

Circuite de curent alternativ monofazat

1. Producerea curentului alternativ

În cîmpul magnetic al unui magnet, o spiră se roteşte în jurul axei sale OO' cu viteza unghiulară constantă ω* (fig. 7—1).

Capetele spirei sînt legate la două inele metalice I_1 şi I_2 solidare cu spira şi pe care freacă periile conductoare P_1 şi P_2 fixe în spaţiu.

În figura 7—2, *a* s-au reprezentat diversele poziţii ale spirei în raport cu liniile de forţă ale cîmpului magnetic. Spre a se putea deosebi cele două feţe ale planului spirei, acestea s-au desenat prin linii de grosimi diferite. În poziţia 1 (fig. 7—2, *a*) spira este presupusă orizontală, fiind străbătută de cel mai mare număr de linii de forţă, adică de fluxul magnetic maxim. Pe măsură ce spira se roteşte (poziţia 2), fluxul magnetic care o străbate scade, iar în poziţia 3, fluxul magnetic prin planul spirei se anulează.

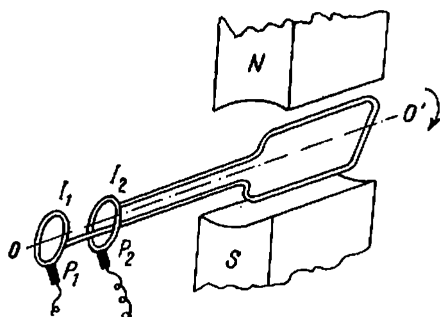


Fig. 7–1. Spiră învîrtitoare în cîmp magnetic.

După poziţia 3, liniile de forţă încep să intre prin cealaltă faţă a planului spirei, adică *fluxul magnetic a devenit negativ* ca sens (poziţia 4) şi scade din ce în ce pînă cînd în poziţia 5 devine minim (sau maxim negativ). După poziţia 5, fluxul ră-

*) Literă mică grecească ce se citeşte „omega".

mîne negativ, dar crește (poziția 6), pentru ca în poziția 7 să se anuleze din nou. Apoi liniile de forță își schimbă din nou fața de intrare în planul spirei, adică fluxul redevine pozitiv (poziția 8) și crește pînă ajunge din nou maxim în poziția 9, care este identică cu poziția 1. Apoi ciclul se repetă periodic.

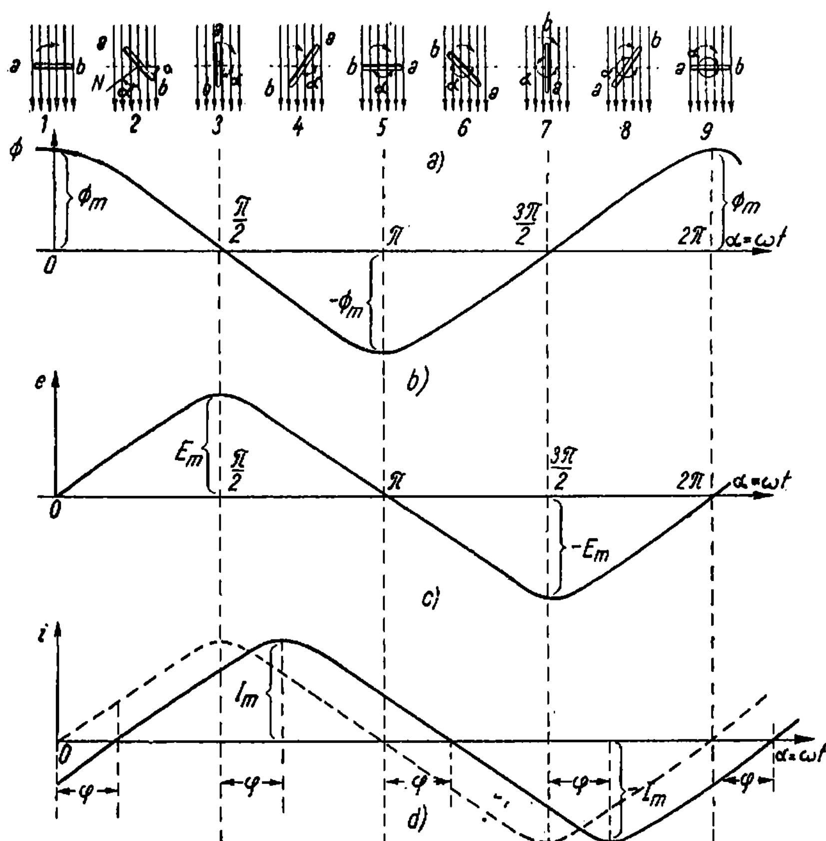


Fig. 7-2. Producerea curentului alternativ într-o spiră învîrtitoare.

Dacă se notează cu α* unghiul planului spirei dintr-o poziție oarecare cu planul spirei din poziția 1 și cu *t* timpul care a

* Literă grecească ce se citește „alfa".

trecut din momentul cînd spira era în poziţia 1 şi pînă în momentul corespunzător unghiului α, se poate scrie:

$$\alpha = \omega t$$

unde timpul t este considerat în secunde, viteza unghiulară ω a spirei, în radiani pe secundă, iar unghiul α, în radiani.

Notînd cu B valoarea inducţiei magnetice a cîmpului şi cu S suprafaţa închisă de spiră, fluxul magnetic care trece prin spiră într-o poziţie oarecare corespunzătoare unghiului α este:

$$\Phi = B \quad S \cos\alpha. \qquad (7.1)$$

Valoarea maximă a acestei expresii are loc pentru:

$$\cos\alpha = 1$$

adică:

$$\alpha = 0, \text{ sau } \alpha = 2\pi,$$

ceea ce corespunde poziţiei 1 sau 9. Se poate deci scrie că valoarea maximă a fluxului este:

$$\Phi_m = B \quad S$$

astfel încît relaţia (7.1) devine:

$$\Phi = \Phi_m \cos\alpha = \Phi_m \cos\omega t. \qquad (7.2)$$

Valoarea minimă are loc pentru:

$$\cos\alpha = -1,$$

adică:

$$\alpha = \pi,$$

ceea ce corespunde poziţiei 5.

Fluxul magnetic Φ se anulează pentru:

$$\cos\alpha = 0,$$

adică:

$$\alpha = \frac{\pi}{2} \text{ sau } \alpha = \frac{3\pi}{2}.$$

Variaţia fluxului magnetic Φ în funcţie de unghiul $\alpha = \omega t$ este reprezentată grafic prin *cosinusoida* din figura 7—2, *b*.

Deoarece fluxul magnetic are o variaţie cosinusoidală (sau *sinusoidală*, dat fiind că sinusoida este o cosinusoidă deplasată cu un unghi $\alpha = \pi/2$), fluxul prin spiră se numeşte *flux magnetic alternativ sinusoidal*, sau, pe scurt, flux magnetic alternativ.

Spira fiind străbătută de un flux magnetic variabil, în spiră ia naştere o forţă electromotoare de inducţie e, a cărei valoare este dată de legea inducţiei electromagnetice; această forţă electromotoare este, de asemenea, variabilă după o lege similară cu aceea a variaţiei fluxului.

Legea de variaţie a forţei electromotoare de inducţie este o relaţie de forma:

$$e = E_m \sin\omega t, \qquad (7.3)$$

în care s-a notat cu E_m valoarea maximă a forţei electromotoare de inducţie, valoare dată de relaţia:

$$E_m = \omega \, \Phi_m.$$

Relaţia (7.3) arată că forţa electromotoare e variază în funcţie de $\alpha = \omega t$ după o lege sinusoidală. Din această cauză se numeşte forţă electromotoare *alternativă sinusoidală* sau, pe scurt, forţă electromotoare alternativă.

Dacă $\omega t = 0$, $\sin \omega t = 0$, iar relaţia (7.3) arată că $e = 0$. Dacă $\omega t = \pi/2$, atunci $\sin \omega t = 1$, iar $e = E_m$, adică este egală cu valoarea sa maximă. Dacă $\omega t = \pi$, $\sin \omega t = 0$, iar $e = 0$. Dacă $\omega t = 3\pi/2$, $\sin \omega t = -1$, iar $e = -E_m$, adică este egală cu valoarea sa minimă. Dacă $\omega t = 2\pi$, situaţia este aceeaşi ca în cazul $\omega t = 0$ ş.a.m.d. Variaţia forţei electromotoare în funcţie de $\alpha = \omega t$ este reprezentată în figura 7—2, *c*.

Se observă în figurile 7—2, *b* şi 7—2, *c* că sinusoida care reprezintă forţa electromotoare este analogă cu aceea care reprezintă fluxul magnetic, cu deosebirea că este deplasată spre dreapta cu intervalul $\pi/2$. Se spune că forţa electromotoare e este *în întîrziere*, sau *defazată*, *în urma* fluxului Φ cu unghiul $\pi/2$. Se poate spune şi invers: fluxul magnetic este *în avans*, sau defazat *înaintea* forţei electromotoare e cu unghiul $\pi/2$.

În general, dacă două mărimi alternative sinusoidale nu au punctele de maxim, minim şi zero simultane, ele se numesc defazate.

Dacă două mărimi alternative sinusoidale nu sînt defazate una faţă de alta, se spune că sînt *în fază*. De exemplu sinusoida trasată punctat în figura 7—2, *d* este în fază cu sinusoida forţei electromotoare e din figura 7—2, *c*.

Dacă cele două perii din figura 7—1 se leagă între ele printr-un conductor, forţa electromotoare e, schimbîndu-şi în mod alternativ sensul, va face ca electronii din circuit să se depla-

seze de asemenea în mod alternativ, cînd într-un sens cînd în sens contrar, adică se va produce un curent electric, care va fi tot *alternativ sinusoidal*.

De obicei, după cum se va vedea, din cauza anumitor proprietăţi ale circuitului electric, sinusoida curentului nu este în fază cu sinusoida forţei electromotoare, ci are un anumit unghi de defazaj φ*, de cele mai multe ori în urma forţei electromotoare, astfel încît formula care reprezintă sinusoida curentului i este:

$$i = I_m \sin(\omega t - \varphi), \qquad (7.4)$$

în care I_m este valoarea maximă a curentului, iar φ defazajul său în urma forţei electromotoare. Sinusoida curentului este reprezentată în figura 7—2, *d* (trăsătură plină) deplasată spre dreapta cu unghiul φ faţă de sinusoida forţei electromotoare e din figura 7—2, *c*.

Dacă curentul ar fi fost defazat înaintea forţei electromotoare cu unghiul φ, formula lui ar fi fost:

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi), \qquad (7.5)$$

iar sinusoida curentului din figura 7—2, *d* ar fi trebuit deplasată *spre stînga* cu unghiul φ faţă de sinusoida forţei electromotoare.

Dacă printr-un conductor de rezistenţă R trece un curent *continuu* I, la capetele acestui conductor există o tensiune *continuă*:

$$U = R \cdot I.$$

În mod analog, dacă printr-un conductor de rezistenţă R trece un curent *alternativ* $i = I_m \sin \omega t$, la capetele conductorului există o tensiune *alternativă*:

$$u = R \cdot i = R \cdot I_m \sin \omega t.$$

Valoarea maximă a acestei tensiuni alternative este:

$$U_m = R \cdot I_m$$

astfel încît formula tensiunii alternative devine:

$$u = U_m \sin \omega t. \qquad (7.6)$$

Mărimile electrice alternative sinusoidale, care se întîlnesc mai des sînt: tensiunea, curentul, forţa electromotoare şi fluxul magnetic.

---

* Literă mică grecească ce se citeşte „fi".

2. Caracteristicile principale ale mărimilor electrice alternative sinusoidale

Fiecare mărime electrică alternativă are o valoare *instantanee*, care este valoarea la un moment dat. De exemplu, pentru curentul alternativ:

$$i = I_m \sin \omega t$$

valoarea instantanee este i, reprezentată prin sinusoida din figura 7—3.

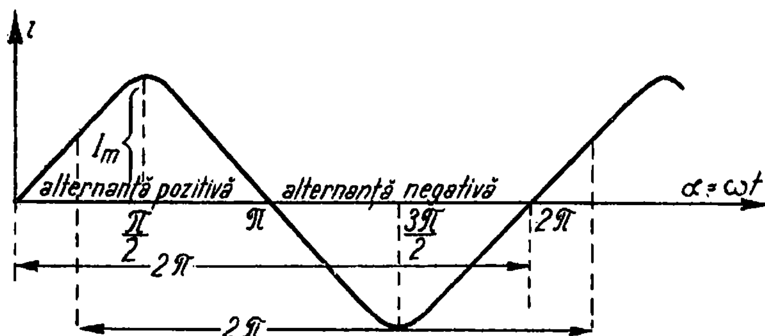


Fig. 7-3. Caracteristicile curentului alternativ.

Fiecare mărime electrică alternativă are o valoare maximă numită *amplitudine*. În cazul curentului alternativ, amplitudinea este I_m.

După un interval de timp care corespunde unghiului:

$$\alpha = \omega \cdot t = 2\pi,$$

valorile unei mărimi electrice alternative încep să se repete. Acest timp notat cu T se numește *perioadă* și rezultă din relația:

$$\omega \cdot T = 2\pi$$

adică:

$$T = \frac{2\pi}{\omega}. \qquad (7.7)$$

Numărul care arată de cîte ori se repetă într-o secundă toate valorile dintr-o perioadă poartă numele de *frecvență* și se notează cu f, măsurîndu-se în *perioade pe secundă* sau *hertzi* (Hz). Curentul

electric din reţeaua oraşului Bucureşti are o frecvenţă de 50 Hz, care este o valoare standardizată. Între frecvenţa f şi perioada T există relaţia:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}. \tag{7.8}$$

Mărimea ω poartă numele de *pulsaţie* şi se măsoară în rad/s. Din relaţia (7.8) rezultă că între pulsaţie şi frecvenţă există următoarea relaţie:

$$\omega = 2\pi \cdot f.$$

Pentru frecvenţa standardizată de 50 Hz, pulsaţia este:

$$\omega = 2\pi \cdot 50 = 314 \text{ rad/s}.$$

O perioadă T se împarte în două *semiperioade*, corespunzînd fiecare unui unghi $\alpha = \omega t = \pi$. Sinusoida corespunzînd unei perioade se împarte în două *alternanţe*, una pozitivă şi alta negativă.

Fiecare mărime electrică alternativă are valoare instantanee, amplitudine, perioadă, frecvenţă, pulsaţie, alternanţe.

În practică este necesar ca mărimile electrice alternative să fie măsurate. Fiind variabile în timp, trebuie să se găsească o valoare care să poată fi uşor măsurată şi să caracterizeze în acelaşi timp mărimea alternativă respectivă.

Media aritmetică nu poate fi utilă, deoarece are o valoare nulă pentru un anumit număr de perioade, dat fiind că fiecărei valori pozitive dintr-o alternanţă îi corespunde o valoare egală, dar negativă, în alternanţa următoare. Din această cauză, s-a ales o altă valoare, numită *valoarea eficace* (sau efectivă). ***Prin valoare eficace a intensităţii unui curent alternativ, se înţelege valoarea unui curent continuu care, trecînd prin acelaşi conductor prin care trece curentul alternativ, produce într-un anumit interval de timp aceeaşi cantitate de căldură pe care o produce şi curentul alternativ în acelaşi interval.*** Se spune că acest curent continuu are o *eficacitate termică* egală cu aceea a curentului alternativ corespunzător; de aici derivă şi denumirea de valoare eficace.

Între valoarea maximă I_m a unui curent alternativ şi valoarea sa eficace I există relaţia:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{I_m}{1,41} = 0,707\, I_m. \tag{7.10}$$

Prin analogie, valoarea eficace a oricărei mărimi electrice alternative este egală cu valoarea sa maximă divizată prin $\sqrt{2}$.

De obicei, valorile instantanee ale mărimilor electrice alternative se notează prin litere mici, valorile eficace, prin litere mari, iar valorile maxime prin litere mari urmate de indicele *m*.

Aparatele de măsurat curenţi alternativi, adică ampermetrele, sau tensiuni alternative, adică voltmetrele, sînt astfel construite, încît indică valorile eficace. În vorbirea curentă, cînd se spune, de exemplu, că o tensiune alternativă are 220 V, se subînţelege valoarea sa eficace.

3. Efectele curentului alternativ

Curentul alternativ, trecînd printr-un conductor, îl încălzeşte. Acesta este *efectul termic* al curentului alternativ. O serie de aparate funcţionează pe baza acestui efect termic: radiatoare, încălzitoare, fiare de călcat, cuptoare.

Dacă se încălzeşte un fir metalic pînă la incandescenţă cu curent alternativ, firul devine luminos. Pe *efectul luminos* al curentului alternativ se bazează funcţionarea lămpilor electrice.

Curentul alternativ produce în jurul său un *cîmp magnetic alternativ*. Inducţia magnetică a acestui cîmp este şi ea alternativă. Un ac magnetic într-un cîmp magnetic alternativ tinde să se rotească la fiecare alternanţă cu cîte 180°, cînd într-un sens, cînd în sens contrar. La o frecvenţă de 50 Hz ar trebui să se rotească de $2 \cdot 50 = 100$ ori pe secundă; din cauza inerţiei sale mecanice, acul stă nemişcat.

Un electromagnet alimentat în curent alternativ produce în jurul său un cîmp magnetic alternativ. S-a arătat că forţa portantă a electromagnetului este proporţională cu pătratul inducţiei magnetice (B^2). În cazul curentului alternativ, deşi inducţia magnetică îşi schimbă periodic semnul, pătratul valorii sale rămîne însă mereu pozitiv, astfel încît forţa portantă nu-şi schimbă sensul. Din această cauză, un electromagnet cu curent alternativ poate atrage piese de oţel.

În miezul de oţel al unei bobine de curent alternativ se produc pierderi prin curenţi turbionari şi prin fenomenul de histerezis, din cauza variaţiei cîmpului magnetic.

Din cele de mai înainte, rezultă că şi curentul alternativ produce *efecte magnetice*.

Ca şi curentul continuu, curentul alternativ produce *efecte fiziologice*, atunci cînd trece prin corpul unei vieţuitoare.

Curentul alternativ, variind periodic ca valoare şi ca sens, nu poate fi utilizat la încărcarea acumulatoarelor, în electroliză şi, în general, pentru producerea de efecte chimice.

Aplicaţia 7-1. O tensiune alternativă are valoarea eficace $U = 380$ V şi frecvenţa $f = 50$ Hz. Care este valoarea maximă, pulsaţia şi perioada?

Rezolvare. Valoarea maximă a tensiunii este:

$$U_m = \sqrt{2}\, U = 1{,}41 \cdot 380 = 535{,}8 \text{ V}.$$

Pulsaţia este:

$$\omega = 2\,\pi \cdot f = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 50 = 314 \text{ rad/s}.$$

Perioada este:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 0{,}02 \text{ s}.$$

4. Reprezentarea vectorială a mărimilor electrice alternative sinusoidale

Se presupune că printr-un conductor trece curentul alternativ:

$$i = I_m \sin \omega t.$$

În figura 7—4 se consideră două axe rectangulare xOy şi se trasează un vector $\overline{OA}$, avînd, la o anumită scară, o lungime egală cu I_m. Se presupune că vectorul $\overline{OA}$ se roteşte în jurul originii O cu o viteză unghiulară constantă egală cu pulsaţia ω a curentului. Unghiul format de vectorul $\overline{OA}$, după timpul t, cu axa Ox este:

$$\alpha = \omega t.$$

Fig. 7-4. Reprezentarea vectorială cu axe de coordonate.

Proiecţia vectorului $\overline{OA} = \overline{I}_m$ pe axa Oy este

$$I_m \cos \alpha',$$

unde α' este unghiul dintre I_m şi Oy. Deoarece unghiul α' este complementar cu α, rezultă:

$$\cos \alpha' = \sin \alpha.$$

În consecință, proiecția vectorului pe axa Oy este:

$$I_m \sin \alpha = I_m \sin \omega t,$$

adică este egală cu valoarea instantanee a curentului alternativ i. Deoarece în timpul rotației sale, proiecția vectorului $\bar{I}_m$ pe axa Oy este mereu egală cu valoarea curentului alternativ i, se poate considera că vectorul $\bar{I}_m$ reprezintă acest curent. Pe această constatare se bazează reprezentarea vectorială a mărimilor electrice alternative.

Se consideră un alt curent alternativ:

$$i' = I'_m \sin (\omega t + \varphi')$$

decalat cu unghiul φ' în avans față de i. Curentul i' poate fi de asemenea reprezentat printr-un alt vector $\overline{OA}' = \bar{I}'_m$ care face unghiul $\omega t + \varphi'$ cu axa Ox, sau unghiul φ' cu vectorul $\bar{I}_m$. Amîndoi vectorii $\bar{I}_m$ și $\bar{I}'_m$ se rotesc cu aceeași viteză unghiulară ω în jurul originii O, totdeauna însă $\bar{I}'_m$ găsindu-se în avans cu unghiul φ' față de $\bar{I}_m$.

Se consideră un al treilea curent alternativ:

$$i'' = I''_m \sin (\omega t - \varphi'')$$

în întîrziere cu unghiul φ'' față de curentul i. Curentul i'' este reprezentat prin vectorul $\overline{OA}'' = \bar{I}''_m$, care face cu $\bar{I}_m$ unghiul φ'' în sens negativ (sensul orar pe figură).

În practică, pentru reprezentarea *simbolică* a celor trei curenți alternativi i, i' și i'' prin vectorii $\bar{I}_m$, $\bar{I}'_m$ și $\bar{I}''_m$, nu se mai trasează și axele de coordonate xOy, deoarece ar complica inutil figura. Vectorul $\overline{OA} = \bar{I}_m$ corespunzător curentului i, de la care s-au socotit unghiurile de decalaj, poartă numele de *origine de fază* și, de multe ori, se trasează orizontal. Direcțiile celorlalți vectori rezultă în raport cu unghiurile lor de defazaj față de originea de fază (fig. 7—5).

Reprezentarea vectorială se poate aplica în mod analog și pentru celelalte mărimi alternative. Cu ajutorul reprezentării vectoriale se pot înlocui de multe ori calcule trigonometrice mai complicate, printr-o construcție grafică simplă.

Se presupune, de exemplu, că, la un nod oarecare dintr-o rețea (fig. 7—6), vin prin trei conductoare curenții alternativi:

$$i_1 = I_{m1} \sin \omega t$$
$$i_2 = I_{m2} \sin (\omega t + \varphi')$$
$$i_3 = I_{m3} \sin (\omega t - \varphi'')$$

şi se caută curentul i în al patrulea conductor, care pleacă de la acelaşi nod.

Prin calcul, ar trebui să se găsească suma:

$$i = i_1 + i_2 + i_3 = I_{m1} \sin \omega t + I_{m2} \sin (\omega t + \varphi') + + I_{m3} \sin(\omega t - \varphi'').$$

Acest calcul, destul de complicat, se poate înlocui printr-o construcţie grafică. În figura 7—7, curenţii i_1, i_2 şi i_3 s-au repre-

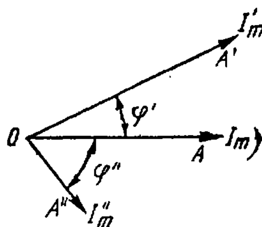


Fig. 7-5. Reprezentarea vectorială fără axe de coordonate.

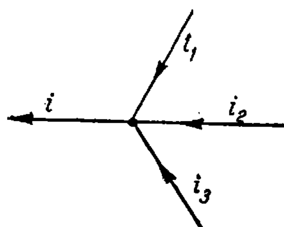


Fig. 7-6. Curenţi alternativi la un nod.

zentat prin vectorii $\bar{I}_{m1}$, $\bar{I}_{m2}$ şi $\bar{I}_{m3}$ cu lungimi corespunzătoare scării alese pentru intensitatea curenţilor. Vectorul $\bar{I}_{m1}$ a fost ales ca origine de fază. Se compun grafic vectorii $\bar{I}_{m1}$ şi $\bar{I}_{m2}$ obţinînd rezultanta $\bar{I}'_m$. Se compune $\bar{I}'_m$ cu $\bar{I}_{m3}$, obţinîndu-se rezultanta totală $\bar{I}_m$. Această rezultantă totală reprezintă curentul alternativ:

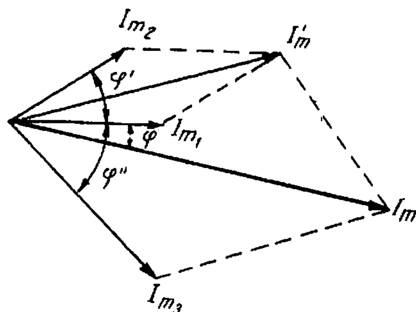


Fig. 7-7. Compunerea vectorială a curenţilor alternativi.

$$i = I_m \sin (\omega t - \varphi)$$

care este suma algebrică a curenţilor i_1, i_2 şi i_3.

Valoarea maximă $\bar{I}_m$ a curentului rezultant se obţine măsurînd lungimea vectorului $\bar{I}_m$ şi ţinînd seamă de scara grafică aleasă pentru intensitatea curenţilor. Unghiul φ, care reprezintă decalajul curentului i faţă de originea de fază, se măsoară de asemenea pe figură.

Diagramele vectoriale se pot construi utilizînd pentru lungimea vectorilor şi valorile eficace. În realitate, aceasta înseamnă

a schimba scara grafică, dat fiind că toate valorile eficace provin din valorile maxime împărțite prin $\sqrt{2}$. Pe aceeași diagramă vectorială toți vectorii trebuie să corespundă unor mărimi electrice alternative cu aceeași pulsație sau frecvență.

5. Condensatorul în cazul curentului alternativ

Să presupunem că se leagă un condensator la o sursă de curent alternativ (în loc de sursă de curent continuu). La un *moment dat*, una dintre armături, cea din dreapta de exemplu, este legată la potențialul negativ al sursei, iar cealaltă armătură, la potențialul pozitiv. Armătura din dreapta se încarcă cu sarcini negative, iar armătura din stînga, cu sarcini pozitive. După ce se schimbă alternanța tensiunii date de sursă, armătura din stînga se va găsi la un potențial negativ, iar armătura din dreapta, la un potențial pozitiv; electronii vor circula prin conductoare în sens invers. În acest timp, condensatorul se descarcă și apoi se reîncarcă cu armătura din dreapta pozitivă și armătura din stînga negativă. După altă schimbare a alternanței, se va produce din nou o circulație de electroni în sens invers ș.a.m.d. Concluzia finală este că *un condensator nu împiedică trecerea curentului alternativ în circuitul din care face parte.*

6. Circuit de curent alternativ cu rezistență, inductanță și capacitate în serie

Presupunem că un circuit cu o sursă de curent alternativ cuprinde în exteriorul sursei o rezistență totală R (în cazul curentului alternativ rezistența R se numește și rezistența *activă*), mai multe bobine de inductanță totală L și mai multe condensatoare de capacitate totală C. Presupunem de asemenea că rezistența R, inductanța L și capacitatea C sînt legate în serie (fig. 7—8).

Dacă valoarea eficace a tensiunii la bornele sursei este U, iar pulsația sa ω, formula care dă valoarea eficace a curentului ce trece prin circuit este:

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}}. \qquad (7.11)$$

Expresia:

$$\sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2} = Z \qquad (7.12)$$

se numește *impedanța* circuitului și se măsoară în ohmi.

Expresia:

$$L\omega - \frac{1}{C\omega} = X \qquad (7.13)$$

se numește *reactanța totală* a circuitului, din care $L\omega$ este *reactanța inductivă*, iar $1/C\omega$ este *reactanța capacitivă*. Reactanțele se măsoară de asemenea în ohmi.

Fig. 7-8. Circuit de curent alternativ cu rezistență, inductanță și capacitate în serie.

Se poate deci scrie și:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X^2}}. \qquad (7.14)$$

Unghiul de defazaj φ între tensiunea U și curentul I rezultă din:

$$\cos\varphi = \frac{R}{Z} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + X^2}} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}}$$

sau

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{X}{R} = \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R}. \qquad (7.15)$$

Formulele (7.11), (7.14) și (7.15) sînt generale, fiind valabile și în orice caz particular: dacă în circuit există numai rezistența R, se anulează termenii care cuprind L și C, dacă există numai L, se anulează termenii care cuprind R și C etc.

Se presupune, de exemplu, că există numai R (fig. 7—9). În acest caz, aplicînd formula generală, se obține:

$$I = \frac{U}{R}, \qquad (7.16)$$

$$\cos\varphi = 1 \text{ deci } \varphi = 0. \qquad (7.17)$$

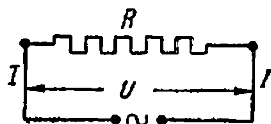


Fig. 7-9. Circuit de curent alternativ cu rezistență.

Din relaţia (7.6) rezultă:

$$U = R\,I \qquad (7.18)$$

adică *valoarea eficace a tensiunii la bornele unei rezistenţe este egală cu produsul dintre valoarea rezistenţei şi valoarea eficace a curentului prin rezistenţă.*

Deoarece $\varphi = 0$, rezultă că *o rezistenţă R nu defazează curentul alternativ care o parcurge, faţă de tensiunea alternativă la bornele rezistenţei.*

În figura 7—10 se arată reprezentarea vectorială a tensiunii U la bornele unei rezistenţe şi a curentului I ce o parcurge. În figura 7—11 se arată sinusoidele care reprezintă variaţia valorilor instantanee respective ale tensiunii u şi curentului i.

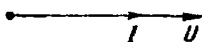


Fig. 7-10. Diagramă vectorială în cazul unui circuit de curent alternativ cu rezistenţă.

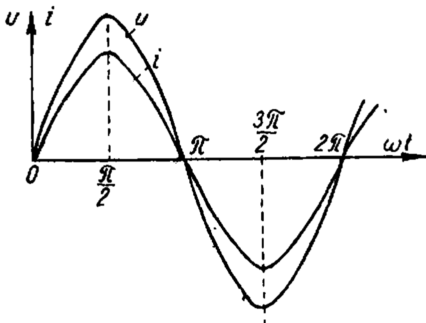


Fig. 7-11. Variaţia tensiunii u şi a curentului i în cazul unui circuit de curent alternativ cu rezistenţă.

Dacă circuitul cuprinde numai o inductanţă L (fig. 7—12), formula generală ne dă:

$$I = \frac{U}{L\omega} \qquad (7.19)$$

$$\cos\varphi = 0, \text{ deci } \varphi = \frac{\pi}{2}. \qquad (7.20)$$

Din relaţia (7.19) rezultă:

$$U = L\,\omega\,I \qquad (7.21)$$

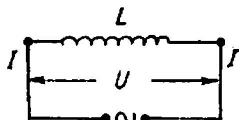


Fig. 7-12. Circuit de curent alternativ cu inductanţă.

adică *valoarea eficace a tensiunii la bornele unei inductanţe este egală cu produsul dintre valoarea inductanţei L, valoarea pulsaţiei ω şi valoarea eficace a curentului I prin inductanţă.*

Din relaţia (7.20) rezultă că *o inductanţă defazează curentul alternativ care o parcurge cu unghiul π/2 în urma tensiunii la bornele inductanţei.*

În figura 7—13 se arată diagrama vectorială corespunzătoare pentru curent şi tensiune, iar în figura 7—14, sinusoidele curentului şi tensiunii în cazul inductanţei.

Dacă circuitul de curent alternativ cuprinde numai o capacitate C (fig. 7—15), valoarea eficace a curentului este:

$$I = U C\omega \tag{7.22}$$

$$\cos\varphi = 0;\ \operatorname{tg}\varphi = -\infty \text{ şi deci } \varphi = -\frac{\pi}{2}. \tag{7.23}$$

Din relaţia (7.22) rezultă:

$$U = \frac{I}{C\omega} \tag{7.24}$$

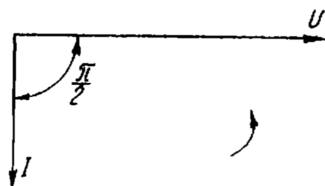


Fig. 7-13. Diagrama vectorială în cazul unui circuit de curent alternativ cu inductanţă.

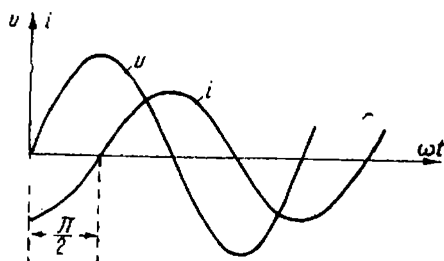


Fig. 7-14. Variaţia tensiunii u şi a curentului i în cazul unui circuit de curent alternativ cu inductanţă.

adică: *valoarea eficace a tensiunii alternative la bornele unei capacităţi C este egală cu raportul dintre valoarea eficace I a curentului ce trece prin capacitate şi produsul Cω, unde ω este pulsaţia tensiunii.*

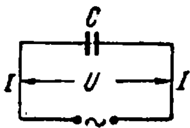


Fig. 7-15. Circuit de curent alternativ cu capacitate.

Din relaţia (7.23) rezultă că *o capacitate defazează curentul alternativ care o parcurge cu unghiul π/2 în avans faţă de tensiunea alternativă la bornele capacităţii.*

În figura 7—16 se arată reprezentarea vectorială a tensiunii U la bornele unei capacităţi şi a curentului I ce o parcurge. În figura 7—17 se arată sinusoidele care reprezintă variaţia valorilor instantanee ale tensiunii u şi, respectiv, a curentului i.

Cunoscînd diagramele vectoriale pentru cazurile particulare reprezentate în figurile 7—10, 7—13 şi 7—16 se poate trasa diagrama vectorială în cazul general, cînd în circuit se găsesc legate în serie o rezistenţă R, o inductanţă L şi o capacitate C, conform figurii 7—18.

În figura 7—18 s-a notat cu I valoarea eficace a vectorului reprezentînd curentul care parcurge circuitul, iar cu $U_R = RI$

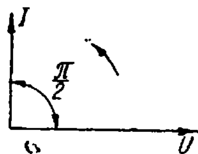


Fig. 7-16. Diagramă vectorială în cazul unui circuit de curent alternativ cu capacitate.

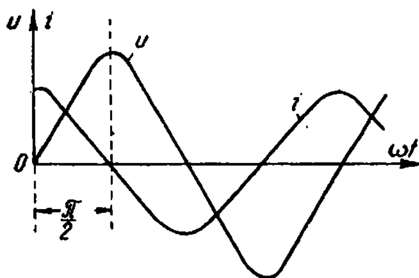
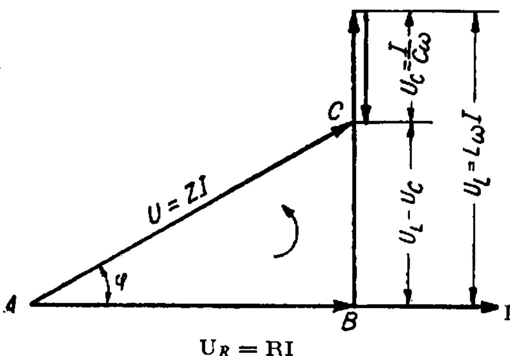


Fig. 7-17. Variaţia tensiunii u şi a curentului i în cazul unui circuit de curent alternativ cu capacitate.

valoarea eficace a vectorului reprezentînd tensiunea U_R la bornele rezistenţei. După cum se ştie, tensiunea U_R este în fază cu curentul I.

Pe diagramă s-a notat cu $U_L = L\,\omega I$ valoarea vectorului care reprezintă tensiunea la bornele inductanţei L, tensiune care este defazată cu unghiul $\pi/2$ înaintea curentului I. De asemenea, s-a notat cu $U_C = I/C\omega$ valoarea eficace a vectorului care reprezintă tensiunea la bornele capacităţii, tensiune defazată cu unghiul $\pi/2$ în urma curentului I.

Compunînd vectorii care reprezintă tensiunile U_R, U_L şi U_C, se obţine tensiunea totală U la bornele circuitului. Vectorii $\overline{U}_L$ şi $\overline{U}_C$, gă-



$U_R = RI$

Fig. 7-18. Diagrama vectorială pentru un circuit de curent alternativ cu rezistenţă, inductanţă şi capacitate în serie.

sindu-se pe aceeași direcție, vectorul rezultant respectiv are valoarea $\overline{U}_L - \overline{U}_C$, după cum reiese din figură. Compunînd acest vector $\overline{U}_L - \overline{U}_C$ cu vectorul $\overline{U}_R$, se obține vectorul $\overline{U}$, care reprezintă tensiunea la bornele circuitului.

Triunghiul dreptunghi ABC se numește *triunghiul tensiunilor*. Din acest triunghi rezultă relațiile (7.11) și (7.15). Dacă valoarea fiecărei laturi a acestui triunghi se împarte cu I se obține un alt triunghi dreptunghi, avînd ipotenuza AC egală cu impedanța Z a circuitului, cateta AB egală cu rezistența R, iar cateta CB, cu reactanța X; acest triunghi se numește *triunghiul impedanțelor*, deoarece atît rezistența R, cît și reactanța X sînt cazuri particulare de impedanțe.

Aplicația 7-2. **Într-un circuit se leagă în serie un încălzitor cu rezistența $R = 400\,\Omega$, o bobină avînd o inductanță $L = 1$ H și o rezistență neglijabilă și un condensator cu o capacitate $C = 100\ \mu$ F. Acest circuit este alimentat de la o sursă de curent alternativ, care menține la bornele circuitului o tensiune eficace $U = 380$ V cu o frecvență $f = 50$ Hz. Care este valoarea eficace I a curentului din circuit și care este cosinusul unghiului de defazaj φ între curent și tensiune?**

Rezolvare. Valoarea pulsației este:

$$\omega = 2\pi \cdot f = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 50 = 314 \text{ rad/s}.$$

Valoarea eficace a curentului este:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}} =$$

$$= \frac{380}{\sqrt{400^2 + \left(1 \cdot 314 - \frac{10^6}{100 \cdot 314}\right)^2}} = \frac{380}{490} = 0{,}78 \text{ A}$$

$$\cos\varphi = \frac{R}{Z} = \frac{400}{\sqrt{400^2 + \left(1 \cdot 314 - \frac{10^6}{100 \cdot 314}\right)^2}} = \frac{400}{490} = 0{,}82.$$

7. Circuit de curent alternativ cu rezistență, inductanță și capacitate în paralel

În figura 7–19 se arată un circuit care cuprinde: o rezistență R, o inductanță L și un condensator de capacitate C, legate în paralel. O sursă de curent alternativ cu pulsația ω produce la bornele acestui circuit o tensiune alternativă U. Pentru a afla valoarea eficace I a curentului produs de sursă, se trasează diagrama vectorială din figura 7—20.

Curentul care trece prin rezistență este dat de:

$$I_R = \frac{U}{R},$$

și este reprezentat de un vector în fază cu $\overline{U}$, după cum se vede și pe figură. Curentul care trece prin inductanță este dat de:

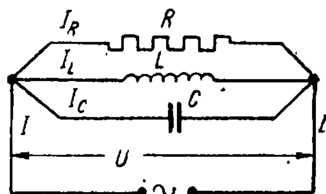


Fig. 7–19. Circuit de curent alternativ cu rezistență, inductanță și capacitate în paralel.

$$I_L = \frac{U}{L\omega},$$

și este reprezentat de un vector care face unghiul $\pi/2$ în urma vectorului $\overline{U}$. Curentul care trece prin capacitate rezultă din:

$$I_C = U\,C\omega$$

și este reprezentat de un vector care face unghiul $\pi/2$ înaintea vectorului $\overline{U}$.

Fig. 7–20. Diagrama vectorială a schemei din figura 7–19.

Vectorul care reprezintă curentul I produs de sursă rezultă din compunerea vectorilor $\overline{I}_R$, $\overline{I}_L$ și $\overline{I}_C$, astfel după cum se vede pe diagramă.

Triunghiul dreptunghi ABC se numește ***triunghiul curenților***. Din acest triunghi rezultă valoarea curentului dat de sursă:

$$I = U\sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{L\omega} - C\omega\right)^2}. \qquad (7.24)$$

Unghiul de defazaj φ dintre I şi U rezultă din acelaşi triunghi dreptunghi:

$$\left.\begin{aligned} \cos\varphi &= \frac{\frac{1}{R}}{\sqrt{\frac{1}{R^2}+\left(\frac{1}{L\omega}-C\omega\right)^2}} \\ \text{sau} \qquad \operatorname{tg}\varphi &= \frac{\frac{1}{L\omega}-C\omega}{R} \end{aligned}\right\} \qquad (7.25)$$

Formulele (7.24) şi (7.25) sînt generale. Dacă nu există conductorul cu rezistenţa R, se anulează termenul care cuprinde pe R, dacă nu există inductanţa L se anulează termenul care cuprinde pe L etc.

Aplicaţia 7–3. Un circuit electric cuprinde trei ramuri în paralel. Pe una dintre ramuri se găseşte un radiator electric cu o rezistenţă $R = 200\ \Omega$, pe a doua ramură, o bobină cu o inductanţă $L = 0{,}2$ H şi rezistenţă neglijabilă, iar pe a treia, un condensator cu o capacitate $C = 150\ \mu$F. La bornele acestui circuit se aplică o tensiune alternativă de valoare eficace $U = 220$ V şi frecvenţa $f = 25$ Hz. Care este valoarea eficace a curentului total I? Care este valoarea eficace a curenţilor I_1, I_2 şi I_3 din fiecare ramură?

R e z o l v a r e. Valoarea pulsaţiei este:

$$\omega = 2\pi \cdot f = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 25 = 157 \text{ rad/s}.$$

Valoarea eficace a curentului total este:

$$I = U\sqrt{\frac{1}{R^2}+\left(\frac{1}{L\omega}-C\omega\right)^2} =$$

$$= 220\sqrt{\frac{1}{200^2}+\left(\frac{1}{0{,}2\cdot 157}-150\cdot 10^{-6}\cdot 157\right)^2} = 2{,}13 \text{ A}.$$

Valoarea eficace a curentului prin rezistenţă este:

$$I_1 = \frac{U}{R} = \frac{220}{200} = 1{,}1 \text{ A}.$$

Valoarea eficace a curentului prin bobină este:

$$I_2 = \frac{U}{L\omega} = \frac{220}{0{,}2\cdot 157} = 7 \text{ A}.$$

Valoarea eficace a curentului prin condensator este:

$$I_3 = U\cdot C\omega = 220\cdot 150\cdot 10^{-6}\cdot 157 = 5{,}18 \text{ A}.$$

8. Puterea şi energia electrică în cazul curentului alternativ

Puterea instantanee p într-un circuit la bornele căruia se aplică tensiunea alternativă instantanee u şi prin care trece curentul alternativ de valoare instantanee i este:

$$p = u \cdot i \tag{7.26}$$

unde:

$$u = \sqrt{2}\, U \sin \omega t$$

şi

$$i = \sqrt{2}\, I \sin (\omega t - \varphi).$$

Puterea instantanee p are o valoare variabilă în timp.

S-a convenit ca în curent alternativ să se denumească *putere activă*, *media puterii instantanee pe o perioadă*. Dacă se face această medie, se găseşte că puterea activă este:

$$P = U \quad I \cos \varphi \tag{7.27}$$

în care U şi I sînt valorile eficace ale tensiunii şi curentului, iar φ este unghiul de defazaj între curent şi tensiune. În consecinţă, *în cazul curentului alternativ*, *puterea activă este egală cu produsul dintre valoarea eficace a tensiunii*, *valoarea eficace a curentului şi cosinusul unghiului de defazaj între curent şi tensiune.* Expresia $\cos \varphi$ se numeşte şi *factor de putere.*

Cînd factorul de putere are valoarea sa maximă, adică $\cos \varphi = 1$, puterea devine egală cu produsul $U \cdot I$, care poartă numele de *putere aparentă* şi se notează de obicei:

$$S = U \cdot I. \tag{7.28}$$

Puterea aparentă este deci egală cu puterea activă maximă care poate să fie dată de o sursă pentru o anumită tensiune U şi un anumit curent I.

Expresia:

$$Q = U \cdot I \sin \varphi \tag{7.29}$$

poartă numele de *putere reactivă*. Între cele trei puteri P, S și Q, există relația:

$$S^2 = P^2 + Q^2, \tag{7.30}$$

deci:

$$P^2 = S^2 - Q^2.$$

Se vede că pentru o anumită putere aparentă S, pe măsură ce crește puterea reactivă Q, scade puterea activă P. Dar, conform cu relația (7.29), puterea reactivă Q crește atunci cînd crește $\sin\varphi$, deci cînd crește unghiul de defazaj φ și scade factorul de putere $\cos\varphi$. Consumatorii care au bobine cu inductanțe mari (unele mașini electrice, transformatoare ș. a.) defazează mult curentul absorbit, în urma tensiunii (unghi de defazaj mare), astfel încît cer o importantă putere reactivă, făcînd prin aceasta să scadă factorul de putere al sursei care alimentează rețeaua și care nu poate da în consecință decît o putere activă P mică. De aici interesul de a avea un factor de putere cît mai mare la consumatori.

Dacă se măsoară tensiunea eficace U în volți și intensitatea eficace I în amperi, se obține puterea activă în wați, puterea aparentă în *voltamperi* (VA) și puterea reactivă în vari (var). Aceste unități de măsură au ca multipli obișnuiți kilowattul (kW), egal cu 1 000 W, *kilovoltamperul* (kVA), egal cu 1 000 VA și *kilovarul* (kvar), egal cu 1 000 vari.

Deoarece puterea multiplicată cu timpul t, cît durează această putere, dă valoarea energiei respective, rezultă că energia activă și reactivă se vor scrie respectiv:

$$\left.\begin{aligned} W_P &= P\ \ t = U\ \ I \cos\varphi \cdot t \\ W_Q &= Q\ \ t = U\ \ I \sin\varphi\ \ t \end{aligned}\right\} \tag{7.31}$$

Dacă se măsoară tensiunea eficace în volți, curentul eficace în amperi și timpul în secunde, se obține energia activă în wați-secunde (Ws) sau Jouli (J) și energia reactivă în varisecunde (vars), unități care au ca multipli de 3 600 000 ori mai mari, kilowattora (kWh) și kilovarora (kvarh).

Aplicația 7-4. Care este puterea activă P, puterea reactivă Q și puterea aparentă S absorbită de circuitul din aplicația 7-2?

Rezolvare. Puterea activă este:

$$P = U\ \ I \cdot \cos\varphi = 380 \cdot 0{,}78 \cdot 0{,}8 = 237{,}12\ \text{W}.$$

Puterea reactivă este:

$$Q = U \cdot I \quad \sin \varphi = 380 \cdot 0{,}78 \quad 0{,}6 = 177{,}84 \text{ var.}$$

Puterea aparentă este:

$$S = U \cdot I = 380 \cdot 0{,}78 = 296{,}4 \text{ VA.}$$

9. Ameliorarea factorului de putere cu ajutorul condensatorului

În figura 7—21 este reprezentată o sursă S de curent alternativ, care alimentează cu tensiunea eficace U un *receptor inductiv* (care conține inductanță și rezistență). Curentul I_1 absorbit de acest receptor este defazat în urma tensiunii U cu unghiul φ. În paralel cu receptorul inductiv se leagă un condensator de capacitate C ca în figură.

Pentru a se vedea efectul condensatorului asupra factorului de putere, se trasează o diagramă vectorială, ca în figura 7—22. Se ia drept origine de fază vectorul tensiunii U. Se trasează apoi vectorul I_1 absorbit de receptorul inductiv.

După cum se știe, curentul I_2 ce trece prin condensator este reprezentat printr-un vector defazat cu unghiul $\pi/2$ înaintea vectorului tensiunii U. Curentul total I se obține din compunerea vectorilor care reprezintă curenții I_1 și I_2. Se vede din figură

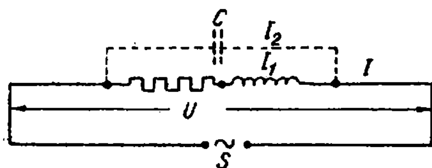


Fig. 7-21. Îmbunătățirea factorului de putere cu ajutorul condensatorului.

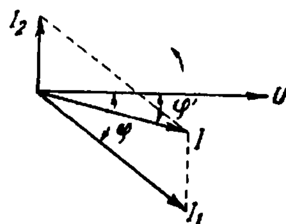


Fig. 7-22. Diagrama vectorială corespunzătoare schemei din figura 7-21.

că vectorul curentului I este defazat față de tensiunea U cu un unghi φ' *mai mic* decît unghiul de defazaj φ din cazul cînd nu există condensator. S-a reușit deci cu ajutorul condensatorului să se obțină un factor de putere $\cos \varphi'$ mai mare decît factorul

de putere inițial, cos φ. În consecință, condensatorul permite ameliorarea factorului de putere. În capitolul XVI se dau amănunte asupra avantajelor economice care rezultă în cazul unui factor de putere bun.

10. Rezonanța electrică

În figura 7—23 este reprezentată o bobină B cu inductanța proprie L și rezistența R legată în serie cu un condensator de capacitate C. Se aplică la bornele întregului circuit o tensiune alternativă de valoare eficace U și pulsație ω. Se notează cu I valoarea eficace a curentului, cu U_{RL} valoarea eficace a tensiunii la bornele bobinei și cu U_C valoarea eficace a tensiunii la bornele condensatorului.

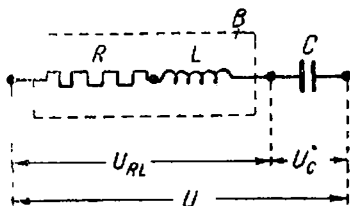


Fig. 7-23. Bobină și condensator în serie.

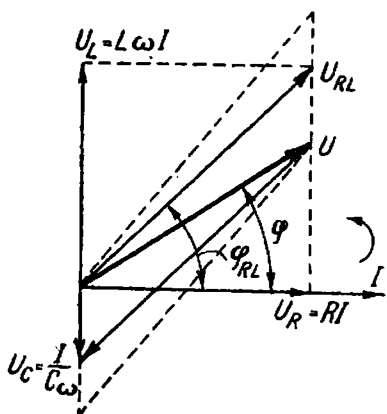


Fig. 7-24. Diagrama vectorială a schemei din figura 7-23.

În figura 7—24 s-a trasat o diagramă vectorială pentru care s-a luat ca origine de fază vectorul $\overline{I}$ al curentului. Valoarea eficace a curentului I este:

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}}. \tag{7.32}$$

Lungimea vectorului $\overline{I}$ se ia corespunzător scării grafice alese pentru intensitatea curentului. Se trasează apoi vectorul

$\overline{U}_R = R\overline{I}$ în faza cu $\overline{I}$ şi care reprezintă tensiunea la bornele rezistenţei $\overline{R}$, vectorul $\overline{U}_L = L\,\omega\,\overline{I}$ făcînd un unghi $\pi/2$ înaintea vectorului $\overline{I}$ şi care reprezintă tensiunea la bornele inductanţei $\overline{L}$, precum şi vectorul $\overline{U}_C = \overline{I}/C\omega$ făcînd un unghi $\pi/2$ în urma vectorului $\overline{I}$ şi care reprezintă tensiunea la bornele condensatorului.

Vectorul tensiunii $\overline{U}_{RL}$ la bornele bobinei de inductanţă L şi rezistenţă R rezultă din compunerea vectorilor $\overline{U_L}$ şi $\overline{U}_R$. Unghiul φ_{RL} reprezintă defazajul curentului I faţă de tensiunea U_{RL} la bornele bobinei. Compunînd vectorul tensiunii U_{RL} cu vectorul tensiunii U_C, se obţine vectorul tensiunii U, la bornele întregului circuit. Unghiul φ reprezintă defazajul între curentul I şi tensiunea U.

Se va cerceta variaţia curentului din relaţia (7.32) dacă variază capacitatea C. În momentul cînd $C = 0$ (distanţă foarte mare între armăturile condensatorului) $I = 0$, deoarece numitorul fracţiei devine infinit. Pe măsură ce capacitatea C începe să crească (armăturile condensatorului se apropie), valoarea I a curentului creşte. Fracţia $1/C\omega$ din relaţia (7.32), care era foarte mare la valori foarte mici ale capacităţii, scade pe măsură ce capacitatea C creşte. La un moment dat, această fracţie ajunge egală cu expresia $L\omega$, adică:

$$L\omega = \frac{1}{C\omega} \quad \text{sau} \quad L\omega - \frac{1}{C\omega} = 0. \tag{7.33}$$

În acest moment, paranteza de la numitorul expresiei (7.32) se anulează, impedanţa circuitului trece printr-un minim, iar curentul I, printr-un maxim. Valoarea acestui maxim este:

$$I = \frac{U}{R}. \tag{7.34}$$

Valoarea capacităţii C, care face să crească la maximum curentul rezultă din relaţia (7.33):

$$C = \frac{1}{L\omega^2}. \tag{7.35}$$

Din relaţia (7.34) rezultă că în momentul cînd curentul I trece prin maxim, valoarea lui depinde numai de tensiunea U şi de rezistenţa R, ca şi cînd n-ar exista inductanţă şi capacitate în circuit. Valoarea maximă a curentului este cu atît mai mare

cu cît rezistența R a bobinei este mai mică. De asemenea, în momentul de maxim al curentului, unghiul de decalaj φ între curentul I și tensiunea U este nul, deoarece:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R} = 0 .$$

Pe măsură ce rezistența R scade, crește unghiul φ_{RL}, deoarece în circuitul bobinei unghiul de defazaj φ_{RL} dintre curent și tensiunea U_{RL} la bornele bobinei rezultă din:

$$\operatorname{tg}\varphi_{RL} = \frac{L\omega}{R} .$$

Cînd condiția corespunzătoare relației (7.33) este îndeplinită, tensiunea U la bornele circuitului fiind menținută constantă, dacă R scade și deci φ_{RL} crește, tensiunile U_{RL} și U_C la bornele bobinei și condensatorului cresc, ca, de exemplu, în situația reprezentată punctat în figura 7—24. La o valoare foarte mică a rezistenței, deci o valoare foarte mare a unghiului φ_{RL}, tensiunile U_{RL} și U_C cresc foarte mult (se produc supratensiuni), depășind de asemenea cu mult valoarea tensiunii U la bornele circuitului.

În momentul în care a fost îndeplinită condiția (7.33) se spune că a fost realizată *condiția de rezonanță* a circuitului.

Condiția de rezonanță se poate obține nu numai prin variația capacității din circuit, dar și printr-o modificare corespunzătoare a inductanței sau a pulsației. Și în aceste cazuri condiția de rezonanță este îndeplinită dacă:

$$L\omega - \frac{1}{C\omega} = 0$$

adică pentru o valoare a inductanței sau a pulsației dată respectiv de:

$$\left.\begin{aligned} L &= \frac{1}{C\omega^2} \\ \text{sau:}\quad \omega &= \frac{1}{\sqrt{LC}} \end{aligned}\right\} \qquad (7.36)$$

Fenomenul de rezonanţă îşi găseşte în practică aplicaţii utile, în special în radiotehnică. La aparatele de radiorecepţie, de exemplu, este necesar să se prindă o undă cu *o anumită* pulsaţie (sau o anumită frecvenţă f) datorită unui anumit post radioemiţător. Se aranjează atunci astfel parametrii din circuitele aparatului de recepţie, încît să se producă condiţia de rezonanţă pentru pulsaţia respectivă.

Fenomenul de rezonanţă poate avea însă şi efecte dăunătoare. Se presupune, de exemplu, un cablu alimentat de la o maşină generatoare de curent alternativ. Această maşină se comportă în circuit ca o bobină inductivă cu o anumită inductanţă. Cablul introduce în circuit pe lîngă o rezistenţă R şi o capacitate importantă C. Capacitatea se datoreşte conductoarelor cablului, care se comportă ca armăturile unui condensator. Deoarece distanţa dintre conductoare este mică, capacitatea condensatorului poate atinge valori care să conducă la îndeplinirea condiţiei de rezonanţă. Supratensiunile care iau naştere în cazul rezonanţei pot provoca distrugeri în circuit mai ales prin străpungerea izolaţiei cablului. Din această cauză, trebuie să se aleagă astfel parametrii circuitului, încît să ne găsim cît mai departe de condiţia de rezonanţă.

Aplicaţia 7–5. La bornele unui circuit asemănător celui reprezentat în figura 7–23, avînd o rezistenţă $R = 8\ \Omega$, o inductanţă $L = 0{,}4$ H şi o capacitate $C = 50\ \mu$F se aplică o tensiune alternativă cu o valoare eficace $U = 100$ V. Se cere: *a)* să se determine frecvenţa f a tensiunii U pentru cazul rezonanţei; *b)* în cazul rezonanţei să se determine valoarea eficace I a curentului; *c)* în cazul rezonanţei, să se determine valoarea rezistenţei R, pentru ca tensiunea U_L la bornele inductanţei să fie de zece ori mai mare ca tensiunea U la bornele circuitului.

R e z o l v a r e. Pulsaţia la care este satisfăcută condiţia de rezonanţă este:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{0{,}4 \cdot 50 \cdot 10^{-6}}} = 223 \text{ rad/s}.$$

Frecvenţa corespunzătoare este:

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{223}{6{,}28} = 35{,}5 \text{ Hz}.$$

Valoarea eficace a curentului în cazul rezonanţei este:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{100}{8} = 12{,}5 \text{ A}.$$

Presupunînd că R poate varia, în cazul rezonanței trebuie să existe următoarea relație:

$$U_L = 10\ U$$

de unde:

$$\frac{U_L}{U} = \frac{L\omega I}{U} = \frac{L\omega \frac{U}{R}}{U} = \frac{L\omega}{R} = 10.$$

Se deduce:

$$R = \frac{L\omega}{10} = \frac{0,4 \cdot 223}{10} = 8,9\ \Omega.$$

Capitolul VIII

Circuite de curenți alternativi trifazați

1. Producerea curenților trifazați

În figura 8—1 sînt reprezentate trei spire identice 1—1', 2—2' și 3—3' într-un cîmp de inducție magnetică B. Spirele fac între ele unghiuri de cîte 120° (sau $2\pi/3$) și sînt separate (izolate) electric una față de alta. Se presupune că aceste spire se rotesc în sensul săgeții cu o viteză unghiulară constantă ω. După cum se știe, în spira 1—1' se va induce o forță electromotoare alternativă:

$$e_1 = E_m \sin \omega t. \qquad (8.1)$$

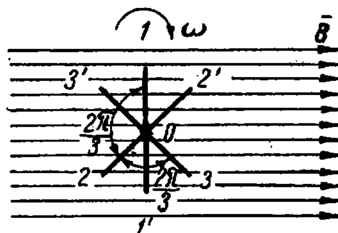


Fig. 8-1. Trei spire învîrtitoare, la 120°, într-un cîmp magnetic.

În spira 2—2' se va induce de asemenea o forță electromotoare alternativă. Deoarece spira 2—2' trece față de cîmp prin aceleași poziții ca și spira 1—1' dar cu o întîrziere corespunzătoare unghiului $2\pi/3$, în spira 2—2' forța electromotoare alternativă e_2 *va fi defazată în urmă* față de e_1 cu unghiul $2\pi/3$, adică:

$$e_2 = E_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \qquad (8.2)$$

În spira 3—3' se va induce o forță electromotoare alternativă e_3 defazată în urmă față de e_1 cu unghiul $4\pi/3$, adică:

$$e_3 = E_m \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right). \qquad (8.3)$$

Cele trei forțe electromotoare e_1, e_2 și e_3, avînd aceeași amplitudine E_m și defazate între ele cu unghiuri egale cu $2\pi/3$ (sau

120°), constituie *un sistem de trei forțe electromotoare trifazate simetrice.* În figura 8—2 sînt reprezentate grafic cele trei sinusoide corespunzătoare acestor forțe electromotoare trifazate.

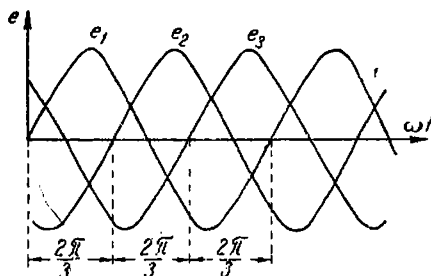


Fig. 8-2. Sinusoidele a trei forțe electromotoare trifazate.

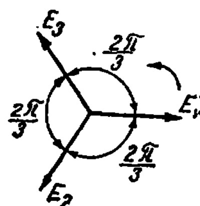


Fig. 8-3. Diagrama vectorială a trei forțe electromotoare trifazate.

În figura 8—3 se arată reprezentarea vectorială a celor trei forțe electromotoare, prin trei vectori $\overline{E_1}, \overline{E_2}$ și $\overline{E_3}$ egali ca lungime și făcînd între ei unghiuri de cîte 120°.

Dacă cele trei spire sînt închise pe circuite identice, vor apărea trei curenți:

$$
\begin{aligned}
i_1 &= I_m \sin (\omega t - \varphi) \\
i_2 &= I_m \sin \left(\omega t - \varphi - \frac{2\pi}{3}\right) \\
i_3 &= I_m \sin \left(\omega t - \varphi - \frac{4\pi}{3}\right)
\end{aligned}
\qquad (8.4)
$$

care constituie un sistem de trei curenți trifazați simetrici.

Curenții pot fi reprezentați, ca și forțele electromotoare, prin trei sinusoide corespunzătoare, de amplitudine I_m, sau prin trei vectori egali și făcînd între ei unghiuri de cîte 120°. Dacă pe aceeași diagramă vectorială se trasează și forțele electromotoare și curenții, fiecare vector care reprezintă un curent trebuie să fie defazat cu unghiul φ față de forța electromotoare care-l produce.

Suma a trei forțe electromotoare trifazate simetrice, a trei curenți trifazați simetrici, sau, în general, a trei mărimi trifazate simetrice este nulă.

În figura 8—4 s-au reprezentat vectorial trei curenți trifazați simetrici I_1, I_2 și I_3. Dacă se compun vectorii $\overline{I_1}$ și $\overline{I_3}$, se

obține o rezultantă egală și de sens contrar cu al treilea vector $\overline{I}_2$, deci rezultanta totală este nulă. Deoarece suma vectorială a celor trei vectori este nulă, și suma valorilor instantanee a curenților este nulă, adică:

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0.$$

Dacă cei trei vectori sînt inegali și formează între ei unghiuri diferite de 120°, mărimile respective formează un sistem trifazat *nesimetric* sau *dezechilibrat*. Cînd sistemul este simetric (sau echilibrat), de multe ori nu se mai menționează în mod expres aceasta.

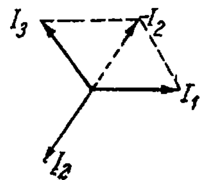


Fig. 8-4. Compunerea a trei curenți trifazați.

2. Gruparea forțelor electromotoare și tensiunilor trifazate

Dacă există o sursă de energie electrică cu o singură forță electromotoare alternativă, care poate produce curent alternativ, această forță electromotoare se numește forță *monofazată*, iar curentul produs se numește curent *monofazat*. În acest caz, sînt necesare două conductoare de curent între sursa S și receptorul R de energie electrică, după cum se vede în figura 8—5.

În practică, cele mai multe surse de curent alternativ — generatoare electrice — au trei bobinaje distincte și produc trei forțe electromotoare trifazate, după cum reiese din figura 8-6. Bobinajele acestor mașini se numesc și *faze*. În acest caz, pentru



Fig. 8-5. Sursă de curent monofazat și linie monofazată.

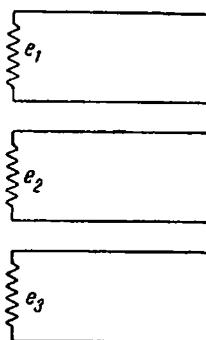


Fig. 8-6. Trei surse cu forțe electromotoare trifazate, avînd șase conductoare.

alimentarea a trei receptoare de la cele trei forțe electromotoare e_1, e_2 și e_3 ar fi necesare șase conductoare.

În practică, la generatoarele de curent alternativ trifazat cele trei bobinaje (faze) sînt astfel legate între ele, încît pentru alimentarea receptoarelor este suficient un număr mai mic de conductoare, realizîndu-se prin aceasta o mare economie de metal la fabricarea conductoarelor (de obicei cupru sau aluminiu).

Dacă se presupune că bobinajele sînt așezate ca în figura 8-7, *a* și se contopesc conductoarele alăturate două cîte două, se obțin numai trei conductoare numite *de linie*, pentru alimentarea receptoarelor, ca în figura 8—7, *b*. Legarea fazelor în modul arătat poartă numele de *legare* (sau *montaj*) *în triunghi*.

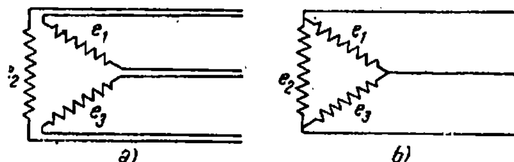


Fig. 8-7. Legarea în triunghi a forțelor electromotoare trifazate.

Se consideră acum că cele trei faze sînt așezate ca în figura 8—8, *a* și se contopesc cele trei conductoare centrale. În acest caz se obține o schemă ca în figura 8—8, *b*, care poartă numele de *legare* (sau *montaj*) *în stea*. Al patrulea conductor care se leagă la punctul central al stelei — numit *punct neutru* — se numește *conductor neutru* sau *de nul*.

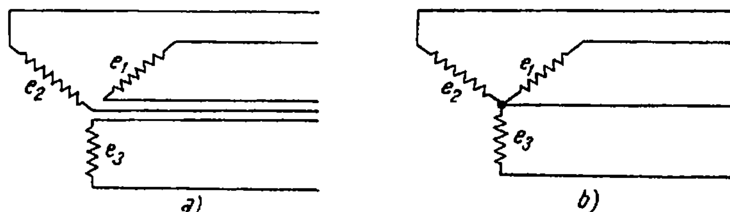


Fig. 8-8. Legarea în stea a forțelor electromotoare trifazate.

În figurile 8—7, *b* și 8—8, *b*, la bornele bobinajelor în care se produc forțele electromotoare trifazate e_1, e_2 și e_3 apar trei tensiuni trifazate.

3. Relații între tensiuni și curenți în cazul legării în triunghi și al legării în stea

În figura 8—9 s-a considerat din nou un generator cu fazele legate în triunghi. S-au notat cu V_1, V_2 și V_3 valorile eficace ale tensiunilor la bornele bobinajelor în care se produc forțe electro-

motoare, cu U_1, U_2 şi U_3, valorile eficace ale tensiunilor dintre conductoarele de linie, cu J_1, J_2 şi J_3, valorile eficace ale curenţilor în cele trei bobinaje şi cu I_1, I_2 şi I_3, valorile eficace ale curenţilor în conductoarele de linie.

Tensiunile V_1, V_2 şi V_3 se numesc *tensiuni simple* sau *pe fază*. Tensiunile U_1, U_2 şi U_3 se numesc *tensiuni de linie* sau *între faze*.

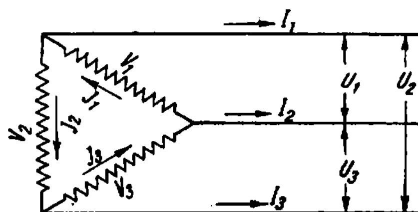


Fig. 8-9. Curenţii şi tensiunile la legarea în triunghi.

Curenţii J_1, J_2 şi J_3 se numesc curenţi *simpli* sau *pe fază*. Curenţii I_1, I_2 şi I_3 se numesc *curenţi de linie*.

Pentru a vedea care este relaţia dintre valoarea unui curent de linie I şi aceea a unui curent de fază J, să observăm că în figura 8—9 un curent oarecare de linie, de exemplu I_2, rezultă din diferenţa dintre doi curenţi pe fază, şi anume J_3 şi J_1.

În figura 8-10 se face diferenţa vectorială între $\overline{J}_3$ şi $\overline{J}_1$ pentru a se obţine $\overline{I}_2$. În acest scop, se compune $\overline{J}_3$ cu un vector egal şi de sens contrar cu $\overline{J}_1$. Din figura 8-10 rezultă:

$$I_2 = J_3 \cos 30° + J_1 \cos 30°.$$

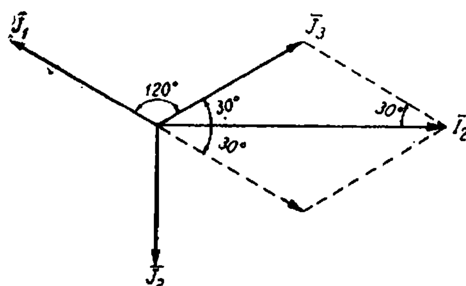


Fig. 8-10. Relaţia între un curent de linie şi curenţii pe fază la legarea în triunghi.

Deoarece ca valoare:

$$J_1 = J_2 = J_3 = J,$$

$$I_1 = I_2 = I_3 = I,$$

unde prin J şi I s-au notat valorile comune respective, se poate scrie:

$$I = 2\,J . \cos 30°.$$

Dar:

$$\cos 30° = \frac{\sqrt{3}}{2},$$

astfel încît:

$$I = \sqrt{3}\,J.$$

În consecință, *la legarea în triunghi, valoarea eficace a tensiunii dintre conductoarele de linie este egală cu valoarea eficace a tensiunii pe fază conform figurii 8—9, iar valoarea eficace a curentului din conductoarele de linie este egală cu valoarea eficace a curentului pe fază multiplicată cu* $\sqrt{3}$, conform relației de mai înainte.

Aceasta se poate scrie pe scurt astfel:

$$U = V \quad \text{și} \quad I = \sqrt{3}\, J. \tag{8.5}$$

În figura 8 — 11 s-au reprezentat cele trei bobinaje legate în stea. Curenții J_1, J_2 și J_3 sînt curenți pe fază, iar curenții I_1, I_2 și I_3 sînt curenți de linie.

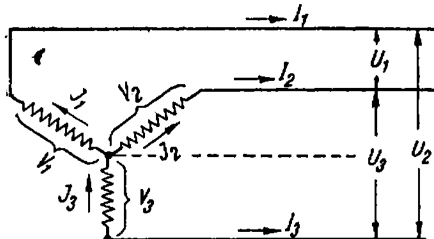


Fig. 8-11. Curenții și tensiunile la legarea în stea.

Tensiunile U_1, U_2 și U_3 sînt tensiunile *de linie* sau *între faze*, iar V_1, V_2 și V_3 sînt *tensiunile pe fază.*

După cum s-a demonstrat la legarea în triunghi pentru curenți, se poate demonstra la legarea în stea pentru tensiuni:

$$U = \sqrt{3}V.$$

În consecință, *la legarea în stea, valoarea eficace a curentului de linie este egală cu valoarea eficace a curentului pe fază, conform figurii 8—11, iar valoarea eficace a tensiunii între conductoarele de linie este egală cu valoarea eficace a tensiunii pe fază multiplicată cu* $\sqrt{3}$, conform relației de mai înainte.

Aceasta se poate scrie pe scurt astfel:

$$I_l = J_f \quad \text{și} \quad U_l = \sqrt{3}V_f. \tag{8.6}$$

În cazul legării în stea, dacă se aplică prima lege a lui Kirchhoff valorilor *instantanee* ale curenților din conductoarele legate la punctul neutru, se găsește că suma celor trei curenți din conductoarele de fază sau active (numite astfel spre a le deosebi de conductorul neutru) este egală cu curentul din conductorul neutru. S-a arătat însă că suma a trei curenți trifazați simetrici este nulă. În consecință, și curentul din conductorul neutru trebuie să fie nul. Pentru ca să existe o astfel de încărcare cu curenți trifazați simetrici, trebuie ca receptoarele de energie electrică să

absoarbă curenţi absolut identici pe toate cele trei conductoare de fază. În caz contrar, suma lor nu mai este nulă şi, în consecinţă, prin conductorul neutru va trece un curent, ceea ce justifică existenţa acestui conductor într-un asemenea caz.

4. Legarea receptoarelor la reţelele trifazate în stea şi în triunghi

Dacă reţeaua este legată în triunghi, receptoarele R pot fi montate fie în triunghi, fie în stea fără conductor neutru, aşa cum se vede în figura 8—12. Aceste receptoare trebuie însă să încarce echilibrat reţeaua trifazată (astfel de receptoare sînt, de exemplu, motoarele trifazate).

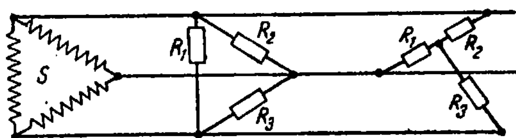


Fig. 8–12. Legarea receptoarelor la o reţea în triunghi.

Cînd reţeaua este legată în stea cu conductor neutru, receptoarele pot fi montate fie în triunghi, fie în stea cu legare la neutru, după cum se arată în figura 8—13. Dacă receptoarele sînt legate în triunghi, ele trebuie să fie echilibrate.

În cazul unei reţele în stea fără neutru (caz mai rar), receptoarele se pot lega ca şi în cazul reţelei legate în triunghi (fig. 8—12).

În general, reţelele trifazate destinate a alimenta simultan lămpi electrice şi motoare electrice nu se pot încărca simetric. Motoarele electrice trifazate încarcă în mod echilibrat reţeaua, dar lămpile electrice nu pot realiza o asemenea încărcare, deoarece sarcina corespunzătoare iluminatului depinde de numărul şi de puterea lămpilor aprinse la un moment dat. Din această cauză, astfel de reţele trebuie să fie legate în stea cu conductor neutru.

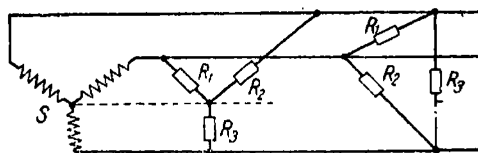


Fig. 8–13. Legarea receptoarelor la o reţea în stea cu fir neutru.

În figura 8—14 este reprezentată o reţea trifazată cu fir neutru, avînd ca receptoare o serie de motoare trifazate (recep-

toare simetrice) şi o serie de lămpi L (receptoare monofazate care încarcă nesimetric reţeaua).

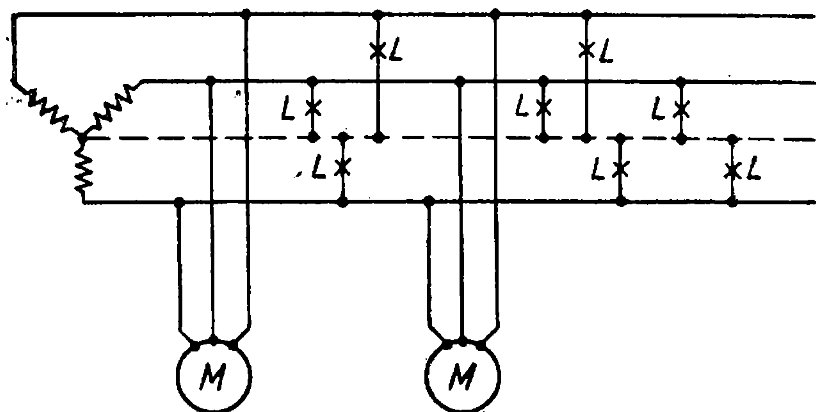


Fig. 8-14. Legarea receptoarelor la o reţea în stea nesimetrică.

5. Puterea şi energia electrică în cazul reţelelor trifazate simetrice

Dacă se consideră o reţea legată în triunghi, ca în figura 8—9, puterea pentru fiecare bobinaj de fază este:

$$P_f = V\,J\cos\varphi,$$

în care: V este tensiunea pe fază;
J — curentul pe fază;
φ — unghiul de decalaj între curent şi tensiune.

Pentru toate cele trei bobinaje de fază, puterea va fi:

$$P = 3\,V\,J\cos\varphi.$$

Dar, după cum se ştie:

$$V = U$$

$$J = \frac{I}{\sqrt{3}},$$

astfel încît, dacă se fac înlocuirile, rezultă:

$$P = \frac{3\,UI}{\sqrt{3}}\cos\varphi = \sqrt{3}\,U\,I\cos\varphi.$$

În cazul unei rețele legate în stea, ca în figura 8—11, puterea pe o fază este:

$$P_f = V\ J \cos \varphi$$

iar puterea totală pentru cele trei bobinaje de fază:

$$P = 3\ V\ J \cos \varphi.$$

În cazul legării în stea, după cum se știe, există relațiile:

$$J = I$$

$$V = \frac{U_l}{\sqrt{3}}.$$

Dacă se fac înlocuirile se obține:

$$P = \frac{3\ U\ I}{\sqrt{3}} \cos \varphi = \sqrt{3}\ U\ I \cos \varphi.$$

Rezultă așadar *că într-o rețea trifazată, fie că este legată în triunghi, fie că este legată în stea, puterea este egală cu $\sqrt{3}$ multiplicat cu valoarea eficace a tensiunii dintre conductoarele de linie, cu valoarea eficace a curentului de linie și cosinusul unghiului de decalaj dintre curentul și tensiunea pe fază.*

În cazul rețelelor trifazate, expresia:

$$P = \sqrt{3}\ U \cdot I \cos \varphi \tag{8.7}$$

se numește *putere activă*; expresia:

$$Q = \sqrt{3}\ U\ I \sin \varphi \tag{8.8}$$

se numește *puterea reactivă*, iar expresia:

$$S = \sqrt{3}\ U\ I \tag{8.9}$$

se numește *putere aparentă.*

Expresiile:

$$W_P = P \cdot t = \sqrt{3}\ U \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot t \tag{8.10}$$

$$W_Q = Q \cdot t = \sqrt{3}\ U \cdot I \cdot \sin \varphi \cdot t \tag{8.11}$$

unde t este timpul, poartă, respectiv, numele de *energie activă* și *reactivă.*

Aplicația 8-1. Un generator de curent trifazat menține între bornele sale o tensiune U de 380 V la frecvența 50 Hz și alimentează printr-o linie foarte

scurtă trei receptoare identice montate în stea (fig. 8–15). Fiecare receptor are o inductanță proprie $L = 0,03$ H și o rezistență $R = 4\ \Omega$. Se cer: tensiunea la bornele fiecărui receptor (se neglijează căderea de tensiune între sursă și receptor); intensitatea curentului absorbit de fiecare receptor; puterea activă consumată de cele trei receptoare.

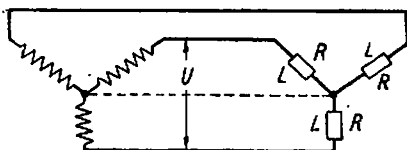


Fig. 8–15. Receptor trifazat alimentat de la un generator.

R e z o l v a r e. Tensiunea V la bornele unui receptor este:

$$V = \frac{U}{\sqrt{3}} = \frac{380}{1,73} = 220\ \text{V}.$$

Intensitatea curentului care trece printr-un receptor este:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{V}{\sqrt{R^2 + (L\omega)^2}} = \frac{220}{\sqrt{4^2 + (0,03 \cdot 2\pi \cdot 50)^2}} = \frac{220}{9,85} = 21,6\ \text{A}.$$

Factorul de putere pentru un receptor este:

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (L\omega)^2}} = \frac{4}{\sqrt{4^2 + (0,03 \cdot 2\pi \cdot 50)^2}} = \frac{4}{9,85} = 0,4.$$

Puterea activă absorbită de cele trei receptoare este:

$$P = \sqrt{3}\, U \cdot I \cos \varphi = 1,73 \cdot 380 \cdot 21,6 \cdot 0,4 = 5\,680\ \text{W} = 5,680\ \text{kW}.$$

Capitolul IX

Fenomene electrice în gaze rarefiate și în vid

1. Descărcări electrice în gaze

Se consideră un tub de sticlă complet închis, avînd la extremități cîte un electrod din platină. Se leagă acești electrozi la un dispozitiv, care poate produce o anumită diferență de potențial între electrozi. Dacă în tub se găsește aer la presiunea atmosferică, iar diferența de potențial între electrozi este suficient de mare, se observă în interiorul tubului descărcări avînd forma unor scîntei șerpuite (fig. 9 – 1, *a*). Dacă se scoate treptat aerul din tub cu ajutorul unei pompe, descărcările pot avea loc și pentru diferențe de potențial mai mici, iar fenomenele luminoase din interiorul tubului se schimbă pe măsură ce presiunea aerului scade.

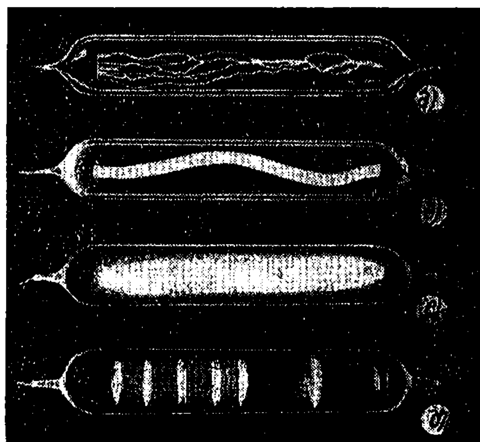


Fig. 9–1. Descărcări în gaze.

Dacă se ajunge, de exemplu, la o presiune corespunzătoare de 10 mm col. mercur, se observă în interiorul tubului o coloană luminoasă roșiatică care se întinde de la electrodul pozitiv (anod) pînă în apropierea electrodului negativ (catod). Această luminozitate poartă numele de *coloană luminoasă pozitivă* (fig. 9—1, *b*). Scoțîndu-se aerul și mai mult, coloana pozitivă își mărește din ce în ce volumul (fig. 9—1, *c*), iar cînd presiunea din interiorul

tubului scade sub 1 mm col. mercur, coloana începe să se separe într-o serie de straturi luminoase și întunecoase, perpendiculare pe axul longitudinal al tubului (fig. 9—1, *d*); dacă, de exemplu, distanța dintre electrozi este de aproximativ 100 mm, iar diferența de potențial este 1 000 V, intensitatea curentului din circuit este de cîțiva miliamperi. Astfel de tuburi se numesc, de multe ori, tuburi *Geissler* (se citește Gaisler), de la numele aceluia care le-a realizat prima dată.

Cînd presiunea din tub este de circa 1 mm col. mercur, iar coloana luminoasă pozitivă umple aproape tot tubul, se pot obține diferite colorații, după natura gazului din interior. Dacă tubul este umplut cu *neon*, se obține o culoare roșie, dacă este umplut cu *heliu*, culoarea este roză-albă etc. Pe această proprietate se bazează fabricarea tuburilor pentru firme luminoase.

Dacă presiunea din interiorul tubului scade mult, la valori cuprinse între 1/100 mm și 1/1 000 mm col. mercur, se formează un spațiu întunecos care începe din regiunea catodului și crește spre anod, pe măsură ce presiunea scade. Asemenea tuburi se numesc tuburi *Crookes* (se citește Crucs), după numele fizicianului care a studiat aceste fenomene. În partea opusă catodului, sticla capătă o luminozitate verzuie, deoarece de la catod pleacă raze care, atingînd sticla, o fac luminoasă. Dacă în drumul acestor raze se interpun alte corpuri, acestea iau diferite colorații: creta devine galbenă-portocalie, diamantul devine verde etc. Chiar gazul rarefiat din interiorul tubului capătă o slabă luminozitate: de exemplu, oxigenul devine galben. Razele care pornesc de la catod se numesc *raze catodice*; ele se propagă în linie dreaptă.

În cele ce urmează se explică modul cum se produc fenomenele luminoase în tuburi.

În tuburile cu gaze rarefiate există de obicei un mic număr de electroni *liberi* (care nu sînt fixați în atomi), fie în gazul rarefiat, fie în catod. Cînd se aplică o diferență de potențial între electrozi, electronii liberi — care sînt particulele încărcate cu electricitate negativă — sînt atrași, sub influența cîmpului electric din tub, de către anod (electrodul pozitiv). În drumul lor, electronii se ciocnesc cu atomii de gaz pe care îi întîlnesc. Prin ciocnire, electronii liberi pot scoate din atomi electroni ai acestor atomi, electroni care, și ei, se dirijează spre anod. Atomii de gaz care au pierdut unul sau mai mulți electroni au devenit particule pozitive, numite *ioni pozitivi*; acești ioni sînt atrași de catod, adică de electrodul negativ. Formarea de ioni din atomii de gaze poartă numele de *ionizare*.

Ionii pozitivi, ajungînd la catod, scot din metalul electrodului alți electroni, astfel încît în interiorul tubului se menține o circulație permanentă de ioni și de electroni. Această circulație de electroni și ioni din interiorul tubului completează circuitul electric în care se găsește tubul, realizîndu-se astfel un circuit închis.

În cazul tuburilor *Crookes*, cînd gazul este foarte rarefiat, numărul ionilor pozitivi care se dirijează spre catod este mult mai redus decît în cazul cînd rarefierea este mai puțin accentuată. Razele catodice din aceste tuburi sînt constituite din electroni care se dirijează de la catod înspre anod.

Ciocnirile dintre electroni și atomii gazului din interiorul tubului nu sînt totdeauna suficient de puternice pentru a scoate complet electronii din atomii respectivi. Uneori, electronii suferă numai o deplasare de pe orbita lor normală pe o altă orbită *mai puțin stabilă*. Un atom care are electroni pe astfel de orbite nestabile se numește *atom excitat*. Electronul de pe orbita nestabilă caută să revină pe orbita stabilă. Cînd se face revenirea electronului, se produce o *radiație*, care poate fi *luminoasă*. De asemenea, se poate întîmpla ca un ion pozitiv *să capteze*, în drumul lui spre catod, un electron care se îndrepta spre anod; acest fenomen poate avea loc dacă viteza electronului nu este prea mare. În momentul captării electronului, se pot produce, de asemenea, radiații luminoase.

În aplicațiile industriale practice sînt mai răspîndite lămpile care funcționează pe baza *descărcărilor electrice în vapori metalici*, de sodiu sau de mercur. Descărcările din aceste lămpi sînt însoțite de efecte luminoase și se numesc descărcări *în arc*.

În ultimul timp au început să se răspîndească din ce în ce mai mult lămpile cu *fluorescență*, care se fabrică și în R.P.R. În tubul unei asemenea lămpi se produc descărcări în vapori de mercur, care dau loc la radiații invizibile (ultra-violete). Aceste radiații, după ce ating peretele interior al tubului lămpii căptușit cu substanțe speciale numite fluorescente, se transformă în radiații luminoase.

Lămpile cu descărcări în vapori metalici au un randament luminos de cîteva ori mai mare decît cel al lămpilor electrice obișnuite (cu incandescență); ele au însă dezavantajul de a produce o lumină cu o culoare neplăcută, care face ca figurile omenești să aibă un aspect cadaveric.

Lămpile cu fluorescență, pe lîngă faptul că au un randament luminos de același ordin de mărime ca și lămpile cu descărcări în vapori metalici, au avantajul de a produce o lumină asemănă-

toare cu aceea a zilei. Din această cauză ele se răspîndesc din ce în ce mai mult în diferite domenii.

2. Razele X (Röntgen)

Se consideră un tub de genul tuburilor *Crookes* (fig. 9—2). Se notează cu A anodul şi cu C catodul. Între anod şi catod se aşază un al treilea electrod metalic A_c numit *anticatod*, legat electric cu anodul, după cum se arată în figură. Dacă se aplică între anod şi catod o diferenţă de potenţial foarte mare, razele catodice care pornesc de la catod lovesc anticatodul A_c, iar acesta emite, la rîndul său, raze care au proprietatea nouă că pot pătrunde prin diverse corpuri mai mult sau mai puţin *opace* (corpurile opace nu pot fi străbătute de razele de lumină). Aceste raze se numesc raze X sau raze *Röntgen*, după numele aceluia care le-a descoperit în anul 1895.

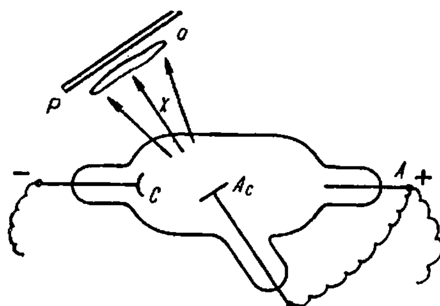


Fig. 9–2. Tub pentru producerea razelor X.

Dacă se aşază în O un obiect oarecare, razele X pot străbate acest obiect şi apoi impresionează, fie un ecran cu *platinocianură de bariu*, fie o *placă fotografică*, aşezată în P. Dacă, de exemplu, se aşază mîna în O, pe ecran — care devine luminos — sau pe placa fotografică, apar oasele mîinii, prin care razele X trec mai greu decît prin carne.

Razele X îşi găsesc numeroase aplicaţii în medicină şi în metalurgie. În medicină ele permit, de exemplu, să se cerceteze fracturile osoase, să se descopere diverse obiecte pătrunse în corpul omenesc etc. Cînd observaţia se face direct pe ecranul cu platinocianură de bariu, operaţia se numeşte *radioscopie*, iar cînd se utilizează o placă fotografică, se numeşte *radiografie*. Uneori, bolile canceroase se tratează cu raze X. Tratamentul cu asemenea raze se numeşte *radioterapie*. În metalurgie, razele X servesc la studiul omogenităţii metalelor, la găsirea defectelor la piesele turnate etc.

Acţiunea îndelungată a razelor X asupra ţesuturilor vii poate produce arsuri profunde, foarte periculoase. Pentru protecţie se utilizează tole de plumb, şorţuri de cauciuc cu plumb sau ochelari din sticlă cu plumb, deoarece plumbul este străbătut foarte greu de razele Röntgen.

3. Emisiunea termoelectronică

În figura 9—3 se consideră un tub de sticlă V, în care s-a făcut vacuum (vid) avansat. S-a notat cu F *filamentul* (un fir subţire) de wolfram, iar cu P, o placă din *molibden*. Cu ajutorul unei baterii B_c de circa 4 V se alimentează filamentul F cu curent electric. Bateria B_a, de aproximativ 80 V, menţine placa P la un potenţial pozitiv faţă de filament. În felul acesta, placa P constituie anodul, iar filamentul F, catodul dispozitivului. Bateria B_c se numeşte catodică, iar bateria B_a, anodică.

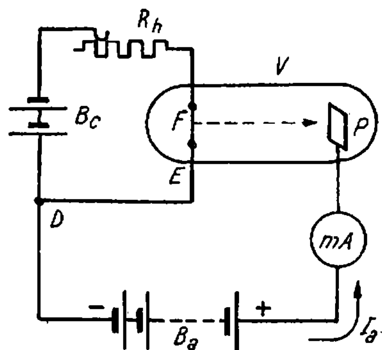


Fig. 9-3 Tub electronic cu doi electrozi.

Se reglează astfel reostatul R_h din circuitul filamentului, încît acesta să se încălzească pînă la incandescenţă. În aceste condiţii, miliampermetrul mA din circuitul bateriei anodice indică trecerea unui curent electric de ordinul miliamperilor, deşi în interiorul tubului filamentul nu este legat cu placa, iar în tub este vacuum; din acest motiv, apariţia curentului electric nu mai poate fi explicată prin ionizarea gazelor ca în tuburile cu gaze rarefiate (§ 1).

Prezenţa curentului se explică prin faptul că filamentul adus la incandescenţă are posibilitatea de a emite electroni în tubul în care s-a făcut vid. Sub influenţa cîmpului electric din tub, aceşti electroni sînt atraşi de către placa anodică. În felul acesta, curentul electric din circuitul *metalic* $P\,B_a D\,E\,F$ se continuă prin circulaţia electronilor dintre filamentul F şi placa P din interiorul tubului. Electronii circulă în sensul săgeţii trasate punctat, iar curentul electric are sensul contrar, indicat de săgeata I_a trasată plin. Curentul I_a se numeşte *curent anodic*.

Eliberarea electronilor de către filamentul încălzit pînă la incandescență poartă numele de *emisiune termoelectronică*, iar curentul constituit de electronii din tub se numește *curent termoelectronic*. Dispozitivul întreg este un *tub electronic*.

4. Tuburi electronice

Tubul electronic din figura 9—3, care are un catod și un anod, poartă numele de *diodă*. Catodul poate fi realizat și din tantal sau toriu, iar anodul din nichel, cupru sau tantal. În figu-

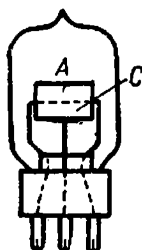


Fig. 9-4. Diodă

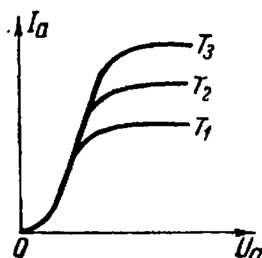


Fig. 9-5. Caracteristicile diodei.

ra 9—4 se arată aspectul constructiv al unei diode, cu un anod (placă) cilindric A și un catod C, care pătrunde prin interiorul anodului.

În figura 9—5 se arată cum variază *curentul anodic* I_a, în funcție de *tensiunea anodică* (tensiunea anodului față de catod) U_a, pentru diferite temperaturi crescătoare T_1, T_2, T_3, ..., ale catodului. La o anumită temperatură a catodului, caracteristica are la început o parte curbă, apoi devine practic rectilinie; ultima parte tinde să devină paralelă cu axa absciselor, adică curentul tinde spre o valoare constantă numită *valoare de saturație* a curentului.

Dioda se întrebuințează mai ales ca *redresor* (dispozitiv care transformă curentul alternativ în curent aproximativ continuu), numindu-se, în acest caz, *diodă redresoare* sau *kenotron*. Funcționarea diodei redresoare se bazează pe faptul că în *circuitul anodic*, curentul I_a (fig. 9—3) nu poate trece decît în sensul indicat de către săgeata plină, atunci cînd potențialul plăcii P este pozitiv față de potențialul filamentului F. Dacă

s-ar încerca să se treacă prin acest circuit un curent alternativ i, nu vor trece decît alternanțele pozitive, astfel cum se arată în figura 9—6. Curentul i din figură se numește *curent redresat* și are numai valori pozitive, apropiindu-se de curentul continuu. Există scheme electrice cu două sau patru diode, care permit

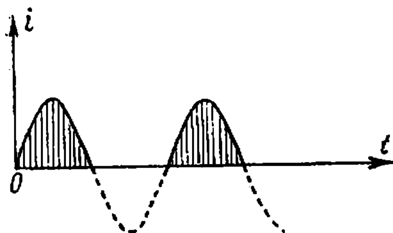


Fig. 9-6. Redresarea unei alternanțe a curentului alternativ.

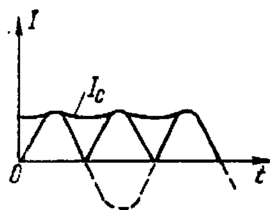


Fig. 9-7. Redresarea ambelor alternanțe ale curentului alternativ.

redresarea ambelor alternanțe ale curentului alternativ, așa cum se arată în figura 9—7. Curentul I_c, din figura 9—7 se apropie în acest caz și mai mult de curentul continuu.

În figura 9—8 se arată un tub electronic, în care s-a făcut vacuum avansat și care, spre deosebire de diodă, conține și o

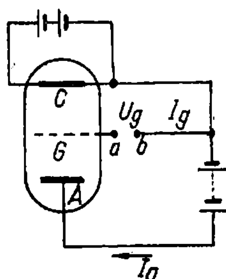


Fig. 9-8. Schema triodei.

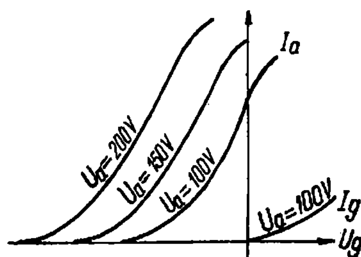


Fig. 9-9. Caracteristicile unei triode în funcție de tensiunea grilei.

grilă (grătar) G între catodul C și anodul A. Un asemenea tub electronic se numește *triodă*. Trecerea electronilor între catod și anod poate fi influențată de potențialul pe care-l are grila față de catod. Dacă grila are un potențial negativ, obținut — de exemplu — cu ajutorul unei tensiuni aplicate între punctele a și b ale *circuitului de grilă*, această grilă va exercita o acțiune de respingere asupra electronilor, frînînd în felul acesta mai

mult sau mai puţin (după valoarea potenţialului de grilă) circulaţia electronilor şi variind deci în mod corespunzător intensitatea curentului I_a din circuitul anodic. Dacă se măreşte potenţialul grilei, curentul din circuitul anodic poate creşte ca intensitate, deoarece circulaţia electronilor este accelerată. În felul acesta, variind potenţialul de grilă se poate *comanda* fără inerţie (adică fără întîrziere) valoarea curentului anodic.

Curentul anodic I_a al triodei depinde de tensiunea anodică U_a a anodului faţă de catod şi de tensiunea U_g a grilei faţă de catod.

În figura 9—9 se arată variaţia curentului anodic I_a şi a curentului de grilă I_g, în funcţie de tensiunea U_g a grilei, pentru diferite valori ale tensiunii anodice U_a.

Caracteristicile arată că se pot comanda curenţi anodici de ordinul miliamperilor, numai prin variaţia tensiunii de grilă, curentul de grilă putînd fi chiar nul.

Unui curent de grilă de ordinul microamperilor (un microamper este a milioana parte dintr-un amper) îi poate corespunde un curent anodic de ordinul miliamperilor.

Deoarece inerţia tuburilor electronice este în general nulă, variaţia curentului anodic urmăreşte instantaneu variaţia tensiunii de grilă, astfel încît se pot utiliza curenţi de frecvenţă mult mai mare decît aceea a curenţilor industriali, şi anume curenţi de frecvenţă muzicală (1 000—3 000 Hz), sau curenţi de înaltă frecvenţă (de exemplu, în instalaţiile de radiocomunicaţii).

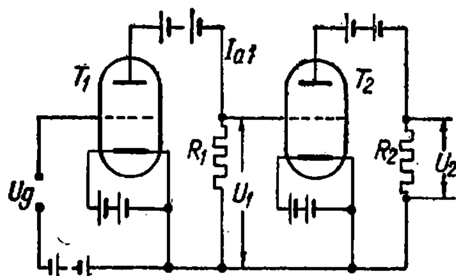


Fig. 9-10. Amplificarea cu ajutorul triodelor.

Dacă într-un montaj corespunzător schemei reprezentate în figura 9—10, variază puţin tensiunea U_g a grilei, aparţinînd triodei T_1, se obţine o variaţie foarte mare a curentului I_{a1} din circuitul anodic al acestei triode. Din această cauză, tensiunea U_g se regăseşte *amplificată* într-un anumit raport în tensiunea U_1 la bornele rezistenţei R_1 din circuitul anodic al triodei T_2. În felul acesta se explică funcţionarea triodei ca *tub amplificator*.

Dacă este necesară o amplificare mai importantă, se pot utiliza mai multe triode, ca, de exemplu, trioda T_2 din figura 9—10. Tensiunea U_1 se regăseşte amplificată la rîndul ei în

tensiunea U_2 la bornele rezistenţei R_2 din circuitul anodic al triodei T_2. Figura 9—10 arată o amplificare în *două etaje*.

Se consideră o triodă montată ca în figura 9—11, unde C este un condensator, iar L_g şi L_p, două bobine cu acelaşi miez. La un anumit moment, condensatorul se încarcă de la bateria anodică şi apoi se descarcă în bobina L_p, energia electrică trecînd astfel din cîmpul electric al condensatorului în cîmpul magnetic al bobinei. Apoi energia trece din nou în condensator şi îl încarcă ş. a. m. d; această energie *oscilează* între cele două cîmpuri din

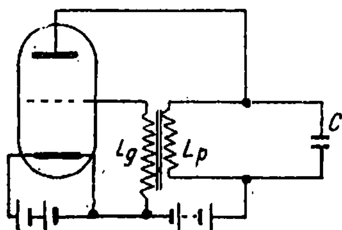


Fig. 9-11. Triodă oscilatoare.

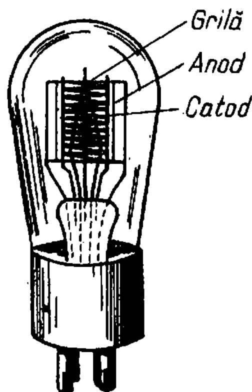


Fig. 9-12. Schema constructivă a unei triode.

condensator şi bobină. Ca urmare, între condensatorul C şi bobina L_p apare un curent alternativ.

În bobina L_g se induce o forţă electromotoare şi în consecinţă la bornele grilei se aplică o tensiune alternativă. La rîndul său, tensiunea alternativă de grilă produce în circuitul anodic un curent alternativ.

Din cauza pierderilor prin efect Lenz-Joule, intensitatea curentului alternativ din circuitul $C—L_p$ s-ar micşora treptat. Pentru ca valoarea curentului să se păstreze, trebuie ca circuitul cu condensator şi bobină, numit *circuit oscilant*, să primească din afară energie; această energie este dată de bateria anodică.

Trioda aceasta poartă numele de *triodă oscilatoare* şi se utilizează în instalaţiile de radiocomunicaţii.

Trioda poate servi şi ca redresor. Redresarea se bazează pe principiul arătat la diodă, curentul care trebuie redresat fiind însă adus în circuitul de grilă, iar curentul redresat obţinîndu-se în circuitul anodic. Din punct de vedere constructiv, trioda — ca şi dioda — poate fi realizată cu balon de sticlă sau metalic. În figura 9—12 se arată aspectul constructiv al unei triode cu balon de sticlă. Trioda cu vid se numeşte şi *pliotron*.

5. Tuburi ionice

Dacă dioda conţine un gaz de joasă presiune (argon sau vapori de mercur), ea poartă numele de *gazotron*. Trecerea electronilor prin gazotron provoacă ionizarea gazului şi de aceea tubul se numeşte *ionic*. În interiorul tubului, la circulaţia electronilor în sensul catod-anod se adaugă circulaţia ionilor pozitivi în sensul anod-catod. La gazotron, curenţii sînt mai intenşi şi căderile de tensiune interne mai reduse decît la dioda cu vacuum. Gazotronul se utilizează de obicei ca redresor, ca şi kenotronul.

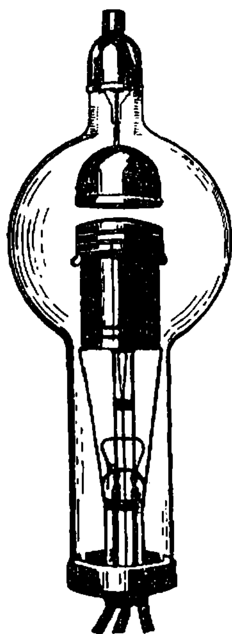


Fig. 9-13. Tiratron.

Dacă trioda conţine un gaz sub presiune joasă, se numeşte *tiratron* şi are o funcţionare deosebită de aceea a pliotronului în ceea ce priveşte stabilirea şi întreruperea curentului anodic. Puterea tiratroanelor ajunge pînă la aproximativ 20 kW.

La tiratron, pentru o anumită tensiune anodică, tubul nu se amorsează (nu apare curent anodic) decît dacă potenţialul grilei a depăşit o anumită valoare, numită *potenţial critic* sau *de amorsare*. Tubul o dată amorsat, curentul anodic nu mai poate fi întrerupt chiar pentru negativări puternice ale grilei.

Tiratronul se utilizează mult ca redresor şi ca amplificator. De asemenea poate servi şi la reglarea valorii tensiunii redresate, dacă se polarizează în mod convenabil grila.

În figura 9—13 se arată construcţia unui tiratron.

6. Emisiunea fotoelectronică. Celula fotoelectrică

În figura 9—14 se consideră un balon de sticlă B în care s-a făcut vacuum; o parte din peretele interior al balonului este căptuşit cu un strat S de oxid de cesiu şi de argint sau de stibiu şi de cesiu. În interiorul balonului se găseşte inelul I din tungsten, legat prin intermediul rezistenţei R la polul pozitiv al

unei baterii de acumulatoare B_a de 80—100 V. Polul negativ al bateriei este legat la stratul S care căptuşeşte balonul.

După cum este realizată schema electrică, se vede că stratul S constituie catodul, iar inelul I, anodul dispozitivului. Experimental se constată că orice variaţie a intensităţii luminoase la care este supus balonul se manifestă printr-o variaţie a curentului în circuitul bateriei şi deci printr-o variaţie a tensiunii la bornele rezistenţei R.

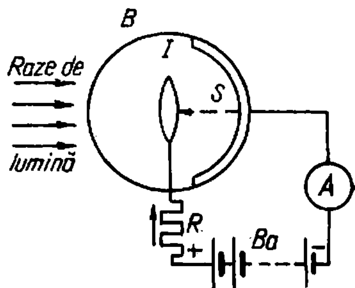


Fig. 9-14. Celulă fotoelectrică.

Fenomenul se explică prin faptul că sub influenţa energiei luminoase catodul emite electroni, iar aceştia, din cauza cîmpului electric, sînt atraşi de către anod. În felul acesta se închide circuitul bateriei, astfel încît aparatul A indică trecerea unui curent electric în sensul săgeţii pline, pe cînd sensul de circulaţie al electronilor în interiorul balonului corespunde săgeţii trasate punctat.

Eliberarea electronilor de pe catod sub influenţa luminii poartă numele de *emisiune fotoelectronică*, iar circulaţia electronilor din balon corespunde unui *curent fotoelectronic*. Dispozitivul poartă numele de *celulă fotoelectrică*.

Celula fotoelectrică cu vacuum are o inerţie foarte mică, adică variaţia curentului anodic se produce practic în acelaşi timp cu variaţia intensităţii luminii. Sensibilitatea sa este însă redusă, adică pentru variaţii mari ale intensităţii luminoase curentul anodic este mic. Există însă şi celule umplute cu gaz *inert* (care nu se combină cu alte corpuri), cum este argonul. Electronii care traversează o asemenea celulă ionizează gazul, astfel încît în interior pe lîngă circulaţia de electroni, se produce şi o circulaţie de ioni pozitivi. Din cauza ionilor, care sînt particule materiale cu masă mult mai mare decît aceea a electronilor, inerţia celulei este mai mare decît a celulei cu vid. Deoarece gazul se ionizează, sensibilitatea celulei cu gaz este mai mare decît aceea a celulei cu vacuum.

Se construiesc celule fotoelectrice bazate şi pe alte principii de funcţionare, ca, de exemplu, *celula cu seleniu*; acest element are proprietatea de a-şi schimba mult rezistivitatea în funcţie de intensitatea luminii care cade pe el. O sursă de energie electrică cuprinzînd în circuitul ei o celulă cu seleniu va produce deci un curent dependent de această intensitate luminoasă.

Celulele fotoelectrice își găsesc întrebuințare în televiziune, în cinematografia sonoră, numărarea automată a produselor fabricate pe bandă rulantă, instalațiile de pază contra delapidatorilor, instalațiile de protecție a muncii etc.

Curenții electrici care apar în funcționarea unei celule fotoelectrice sînt foarte slabi și de aceea ei trebuie să fie amplificați. Amplificarea se poate realiza cu ajutorul unei triode amplificatoare, astfel cum se arată în figura 9—15. Curentul datorit celulei fotoelectrice *C* produce o anumită tensiune la bornele rezistenței R_1. Această tensiune se aplică circuitului de grilă al triodei amplificatoare *A* prin intermediul unui condensator. La bornele rezistenței *R* din circuitul anodic al triodei se obține tensiunea *U* amplificată față de tensiunea la bornele rezistenței R_1.

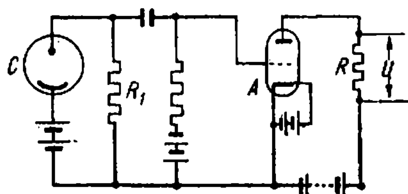


Fig. 9–15. Celulă fotoelectrică cu triodă amplificatoare.

7. Tubul catodic. Televiziunea

Se consideră în figura 9—16, *a*, o diodă cu filamentul *F*. Placa anodică *P* este prevăzută cu un orificiu central. Electronii care părăsesc filamentul străbat orificiul plăcii și al diafragmei *D* spre a ajunge pe ecranul *E* acoperit cu sulfură de zinc, silicat de zinc sau altă substanță specială, care are proprietatea de a produce o pată luminoasă punctiformă acolo unde este atinsă de raza electronică *r*. Această rază trece printre două plăci orizontale P_o și două plăci verticale P_v. Dacă între plăcile verticale se produce, printr-un mijloc oarecare, un cîmp electric, raza electronică este deviată într-un plan orizontal. Dacă între plăcile orizontale se produce un alt cîmp electric, raza electronică este deviată într-un plan vertical. Deviațiile razei electronice apar și pe ecranul *E*.

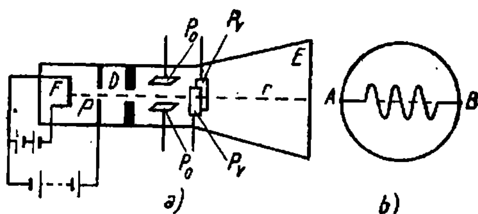


Fig. 9-16. Tub catodic.

Cu ajutorul dispozitivului descris, care poartă numele de *tub catodic*, se poate studia variaţia unei tensiuni. De exemplu, se aplică între plăcile P_o o tensiune alternativă care trebuie studiată, iar între plăcile P_v, o tensiune proporţională cu timpul, ce se poate obţine cu un dispozitiv special. Raza electronică va fi astfel deplasată, încît pata luminoasă de ecran să descrie o curbă ca în figura 9—16, *b*, începînd din *A* înspre *B*. În momentul cînd raza electronică a atins extremitatea *B*, tensiunea dintre plăcile P_v o readuce foarte repede în extremitatea *A* ş.a.m.d.

Tubul catodic îşi găseşte aplicaţii în televiziune, lucrări de laborator, zbor fără vizibilitate, radar etc.

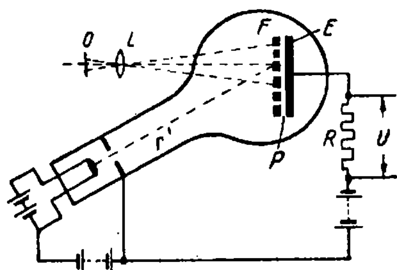


Fig. 9-17. Iconoscop.

Televiziunea, sau vederea la distanţă, se poate obţine cu ajutorul dispozitivului, reprezentat simplificat în figura 9—17 şi care se aseamănă într-o oarecare măsură cu tubul catodic. În *F* se găseşte un strat sensibil la lumină (ca la celula fotoelectrică) alcătuit dintr-un număr foarte mare de picături de argint. Stratul *F* este separat de ecranul metalic *E* printr-o placă de mica *P*. Fiecare picătură de argint constituie un *element fotoelectric* (o mică celulă fotoelectrică). În total se găsesc cîteva zeci de mii de asemenea celule fotoelectrice.

Imaginea unui obiect *O* este proiectată pe ecran prin intermediul unui sistem de lentile *L*. Fiecare rază luminoasă care atinge un element fotoelectric face ca acest element să emită electroni şi încarcă condensatorul constituit din element şi ecranul *E* cu o cantitate de electricitate proporţională cu intensitatea razei luminoase respective.

Mozaicul de elemente fotoelectrice este explorat cu ajutorul unei raze catodice *r'*, adică această rază atinge pe rînd toate elementele. Cînd raza exploratoare atinge un anumit element, condensatorul corespunzător se descarcă, iar rezistenţa *R* este străbătută de un curent proporţional cu intensitatea razei luminoase provenită de la obiectul *O*, care a intersectat elementul fotoelectric respectiv. În felul acesta, la bornele rezistenţei *R* se obţine o tensiune *U* proporţională cu intensitatea razei luminoase respective. Dispozitivul descris este denumit *iconoscop*.

Raza exploratoare r' analizează *punct cu punct* într-un interval de timp foarte scurt întreaga regiune a ecranului pe care se proiectează imaginea obiectului O.

Variațiile tensiunii U sînt trecute într-un amplificator electronic și apoi pot fi transmise la distanță, fie prin intermediul unor conductoare, fie prin intermediul undelor electromagnetice (radio).

Reconstituirea imaginii la postul receptor se face cu ajutorul unui tub catodic. Acesta este prevăzut cu un dispozitiv special de comandă, prin intermediul căruia se poate varia intensitatea razei catodice r (fig. 9—16). Acest dispozitiv de comandă — nereprezentat în figura 9—16— funcționează pe baza unui principiu analog cu acela al grilei unei triode. Raza catodică r a tubului catodic funcționează în *sincronism*, în același timp și în același fel cu raza exploratoare r' a iconoscopului. Variațiile tensiunii U de la postul de emisiune (iconoscop) sînt transmise dispozitivului de comandă menționat mai înainte, de la postul de recepție (tub catodic). În felul acesta, pe ecranul tubului catodic se reproduce imaginea obiectului O de la postul de emisiune.

O explorare completă efectuată de raza r' a iconoscopului ca și de raza r a tubului catodic trebuie să fie realizată în maximum 1/20 dintr-o secundă, deoarece retina ochiului omenesc păstrează senzația luminoasă în acest interval de timp. De obicei, însă, pentru a obține o bună impresie de continuitate, timpul de explorare este de 1/25 dintr-o secundă.

Capitolul X

Materiale electrotehnice

1. Noţiuni generale, clasificare

Materialele folosite în electrotehnică, numite şi materiale electrotehnice, se pot împărţi, după proprietăţile lor electrice, în

— materiale conductoare;
— materiale semiconductoare;
— materiale izolante.

Materialele conductoare sînt corpuri care au în mod normal în componenţa lor sarcini electrice libere, conduc curentul electric şi au o rezistivitate mică, cuprinsă între 10^{-2} şi 10 Ω mm²/m.

Materialele semiconductoare sînt corpuri care, în anumite condiţii, pot conduce curentul electric, avînd o rezistivitate cuprinsă între aceea a materialelor conductoare şi aceea a materialelor izolante (10^{-3} — 10^{-10} Ω cm) şi un coeficient negativ de variaţie a rezistivităţii cu temperatura.

Materialele izolante sînt corpuri care, în mod normal, nu au în componenţa lor sarcini electrice libere, nu conduc curentul electric şi au o rezistivitate foarte mare, cuprinsă între 10^{10} şi 10^{20} Ω cm.

Din punctul de vedere al proprietăţilor magnetice, materialele se pot împărţi în materiale *diamagnetice* şi materiale *paramagnetice*. Materialele diamagnetice sînt corpuri care, fiind introduse într-un cîmp magnetic, nu se magnetizează şi au permeabilitatea magnetică relativă $\mu_r < 1$. Materialele paramagnetice sînt corpuri care, fiind introduse într-un cîmp magnetic, se magnetizează şi au permeabilitatea magnetică relativă $\mu_r > 1$.

Materialele feromagnetice sau magnetice constituie un caz particular al materialelor paramagnetice, avînd $\mu_r \gg 1$ şi proprietăţi magnetice deosebite: au permeabilitatea variabilă cu intensitatea cîmpului magnetic; introduse într-un cîmp magnetic, ele sînt supuse unor forţe electromagnetice şi exercită,

la rîndul lor, influențe asupra acestui cîmp; produc în interiorul lor inducții mari la cîmpuri străine și deformează liniile de forță ale acestor cîmpuri; prezintă pierderi magnetice la variația ciclică a cîmpului străin etc. Aceste materiale sînt mult folosite în electrotehnică.

Materialele electrotehnice au început să fie fabricate în țara noastră numai după 23 August 1944. În prezent se fabrică în special conductoare și cabluri electrice și unele materiale electroizolante. Planul de dezvoltare economică pe anii 1960—1965 prevede creșterea producției de conductoare (de 2,5 ori) și de cabluri electrice (de 4 ori), precum și construirea unei fabrici de semiconductoare.

2. Materiale conductoare

Conductoarele electrice pot fi corpuri solide, lichide și — în anumite condiții (de exemplu la intensități mari ale cîmpului electric) — gaze și vapori.

Metalele și aliajele se pot împărți în metale și aliaje de *mare conductivitate*, întrebuințate pentru conducte electrice, cabluri, sîrmă de bobinaj pentru mașini și aparate electrice etc. și metale și aliaje de *mare rezistivitate*, întrebuințate pentru reostate, aparate electrice de încălzit, lămpi cu incandescență etc.

a. Materiale de mare conductivitate

Cuprul

Avînd o conductivitate electrică mare, o rezistență mecanică destul de mare, proprietăți fizice, chimice și tehnologice care îl fac indicat pentru confecționarea conductoarelor electrice, cuprul are o largă întrebuințare în electrotehnică. Fiind însă un material deficitar (se găsește în scoarța pămîntului în proporție de circa 0,01%), el trebuie înlocuit ori de cîte ori este posibil.

În electrotehnică se folosește *cuprul electrolitic* CuE (STAS 642-49) care are un conținut de 99,95% Cu, precum și Cu9, cu un conținut de 99,9% Cu.

Cuprul electrolitic are o culoare caracteristică roșiatică, greutatea specifică de 8,9 kg/dm³, rezistivitatea $\rho = 1{,}748 \cdot 10^{-2}\ \Omega \frac{mm^2}{m}$,

coeficientul de variație a rezistivității cu temperatura $\alpha = 0{,}00393/\text{grd}$ (STAS 642-49).

Proprietățile diferitelor feluri de cupru determină și utilizarea lor.

Cuprul tare, avînd mare rezistență mecanică, duritate și rezistență la uzură, se folosește la fabricarea conductoarelor neizolate pentru liniile aeriene de transport al energiei electrice, la fabricarea barelor pentru instalații de distribuție, a conductoarelor de contact, a barelor pentru colectoarele mașinilor electrice etc.

Cuprul moale, avînd flexibilitate și maleabilitate mare, dar o rezistență de rupere mai mică, se folosește la fabricarea conductoarelor izolate pentru cabluri electrice și a sîrmelor de bobinaj.

Aliajele cuprului

Bronzul este un aliaj de cupru cu unul sau mai multe metale, în scopul obținerii unui metal mai dur, mai rezistent și mai fuzibil.

Bronzurile se folosesc în construcția mașinilor și aparatelor electrice, precum și la confecționarea diferitelor piese cum sînt clemele pentru conductoare, clemele de legătură, clemele de susținere, inelele colectoare, armăturile, cuțitele, contactele, arcurile etc.

Alama este un aliaj de cupru cu zinc, în care zincul nu poate depăși 46% (STAS 95-49). După compoziție, alama are rezistivitatea cuprinsă, la 20°C, între 5 și $7{,}1 \cdot 10^{-2}\ \Omega \frac{mm^2}{m}$.

Ea se folosește la confecționarea pieselor conductoare de curent, de exemplu: cleme de derivație, socluri, patroane fuzibile, borne pentru tablouri de distribuție, piese de contact, dulii pentru lămpi, prize și fișe de curent etc.

Aluminiul

Avînd proprietăți asemănătoare cu acelea ale cuprului, aluminiul este cel de-al doilea metal important folosit în electrotehnică. Compoziția aluminiului utilizat în electrotehnică depinde de destinația sa (STAS 3033-52 și STAS 4965-55).

Aluminiul are o culoare albă-argintie, care cu timpul devine albăstruie din cauza oxidării la suprafață, greutatea specifică de $2{,}7\ kg/dm^3$, rezistivitatea, la 20°C, de $2{,}941 \cdot 10^{-2}\ \Omega \frac{mm^2}{m}$ și coeficientul de variație a rezistivității cu temperatura de $0{,}004/\text{grd}$ la 20°C. El rezistă la coroziune datorită unui strat de oxizi

de rezistență electrică mare, cu care se acoperă în prezența aerului. Pelicula de oxid îngreuiază însă foarte mult lipirea aluminiului, care nu se poate face decît folosind paste de lipit speciale.

O mare importanță practică o are *coroziunea galvanică*, care apare la locurile de contact între aluminiu și cupru. Dacă regiunea contactului este supusă umezelii, se formează o pilă galvanică locală, cu o f.e.m. de valoare destul de mare, care distruge aluminiul. Din această cauză, locurile de contact între aluminiu și cupru se protejează întotdeauna împotriva umezelii prin acoperire cu lacuri.

Aluminiul se utilizează la confecționarea conductoarelor liniilor de transport al energiei electrice, la fabricarea cablurilor electrice, a conductoarelor pentru bobinaj și pentru instalațiile electrice interioare, a rotoarelor pentru motoarele electrice asincrone cu rotor în scurtcircuit, a tablelor pentru confecționarea carcaselor aparatajului, a foițelor de condensatoare, a papucilor pentru conductoare etc.

Aliajele aluminiului

Aliajul aluminiului cel mai întrebuințat este aldrey-ul, compus din aluminiu, magneziu (0,3—0,5%), siliciu (0,4—0,7%) și fier (0,2—0,3%). Acest aliaj se întrebuințează la confecționarea, prin trefilare, a conductoarelor pentru linii aeriene.

Zincul

Zincul utilizat în electrotehnică (STAS 808-55, 809-55 și 4172-53) are greutatea specifică de 7,14 kg/dm^3, rezistivitatea, la 20°C, de $5,92 \cdot 10^{-2}\ \Omega \frac{mm^2}{m}$, coeficientul de variație a rezistivității cu temperatura de 0,00419/grd și rezistența la tracțiune de 11,2—13,3 kgf/mm^2.

Se utilizează la confecționarea conductoarelor (cu adaos de Cu sau Al), a electrozilor pentru elemente galvanice, a lamelelor fuzibile pentru siguranțe etc.

Oțelul și fonta

Oțelul folosit în electrotehnică (cu un conținut de 0,10—0,15 % C) are densitatea de 7,8 kg/dm^3, conductivitatea de 7—8 ori mai mică decît cuprul și rezistența de rupere de 70—75 kgf/mm^2.

Fiind un metal mai ieftin decît cuprul și avînd o rezistență mecanică mare se folosește și la confecționarea șinelor de tramvai, de căi ferate electrice și de metrou, precum și pentru miezurile (inimile) cablurilor electrice.

Deoarece nu rezistă la coroziune, ruginind chiar la temperatura normală, oțelui folosit pentru conducerea curentului se protejează acoperindu-se cu un strat protector, de obicei, de zinc.

Fierul cu un procent mare de carbon (1,1—4,5%) dă fonta, care se utilizează la executarea reostatelor de pornire şi de reglare, precum şi la fabricarea unor rezistenţe de încălzire electrică pentru temperaturi pînă la 300—500°C.

Magneziul

Magneziul are o culoare albă-argintie, este maleabil şi are o rezistenţă slabă la coroziune. Încălzit la 800°C arde cu flacără albă, orbitoare.

Se utilizează la unele tipuri de redresoare, ca material pentru electrozii reci ai aparatelor ionice şi pentru aliaje.

Wolframul

Este foarte dur şi este metalul cu cea mai mare temperatură de topire (circa 3370°C).

Wolframul este utilizat la fabricarea spiralelor de lămpi electrice cu incandescenţă, a rezistenţelor de încălzire pentru cuptoarele electrice, a electrozilor din tuburile electronice, a contactelor pentru curenţi de mare intensitate, a termoelementelor etc.

Nichelul

Este un metal de culoare albă-cenuşie, avînd greutatea specifică de 8,9 kg/dm³, rezistivitatea, la 20°C, de $8{,}7-9{,}52 \cdot 10^{-2}\ \Omega \frac{mm^2}{m}$ şi coeficientul de variaţie a rezistivităţii cu temperatura de 0,0044—0,0069/grd.

Nichelul se utilizează în tehnica vidului, ca suport pentru filamentele lămpilor cu incandescenţă şi al diferiţilor electrozi ai tuburilor electronice, la fabricarea contactelor electrice care funcţionează în atmosferă de hidrocarburi, a rezistenţelor de încălzire pînă la 900°C, ca material de protecţie pentru piesele din oţel, la fabricarea termocuplelor, precum şi pentru diferite aliaje.

Platina

Are o culoare albă-cenuşie, o greutate specifică mare (21,45 kg/dm³), rezistivitatea, la 20°C, de $10{,}30 \cdot 10^{-2}\ \Omega \frac{mm^2}{m}$ şi rezistenţa de rupere la tracţiune de 20—30 kgf/mm².

Platina se utilizează pentru contacte electrice, rezistenţe pentru elemente de încălzire, cupluri termoelectrice, siguranţe fuzibile în vid etc.

Argintul

Are o culoare albă, cu luciu metalic, greutatea specifică de 10,5 kg/dm³ şi cea mai mare conductivitate electrică dintre toate metalele $\left(\rho = 1{,}6 \cdot 10^{-2}\ \Omega \frac{mm^2}{m}\right)$. Este un metal nobil, nefiind atacat de oxigen la temperatura normală.

Argintul se utilizează la contactele pentru intensităţi mici de curent, pentru armăturile condensatoarelor, pentru conductoare folosite în înaltă frecvenţă etc.

Plumbul

Plumbul are o culoare cenuşie-albastră, o greutate specifică de 11,34 kg/dm³, rezistivitatea, la 20°C, de $20{,}8 \cdot 10^{-2}\ \Omega \frac{mm^2}{m}$ şi o rezistenţă de rupere la tracţiune de 1,5 kgf/mm².

Plumbul se utilizează la mantalele protectoare pentru cabluri electrice, pentru fabricarea acumulatoarelor electrice cu plăci de plumb, ca material de protecție pentru absorbția razelor Röntgen etc.

Staniul

Are o culoare albă-argintie, greutatea specifică de 7,3 kg/dm³, rezistivitatea, la 20°C, de $11{,}4 \cdot 10^{-2}\ \Omega \frac{mm^2}{m}$.

Staniul se utilizează la confecționarea condensatoarelor cu hîrtie sau cu mică (sub forma foițelor de staniol).

Mercurul

Este singurul metal lichid la temperatura obișnuită, are un aspect alb-argintiu, greutatea specifică de 13,55 kg/dm³ și rezistivitatea, la 20°C, de $95{,}8 \cdot 10^{-2}\ \Omega \frac{mm^2}{m}$.

Mercurul se utilizează la construcția redresoarelor cu baie de mercur, pentru electrozi de mercur, pentru contacte în relee sau aparate similare etc.

b. Materiale conductoare de mare rezistivitate

În general, în construcția rezistențelor electrice sînt folosite aliajele metalelor greu fuzibile (Cu, Ni, Mn, Fe, Cr) care au o rezistivitate mai mare, un coeficient mai mic de variație a rezistivității cu temperatura și sînt mai rezistente la coroziune decît elementele componente.

Manganina este un aliaj, cu 86% Cu, 2% Ni și 21% Mn, de culoare roșiatică-cafenie.

Are rezistivitatea de $42 \cdot 10^{-2}\ \Omega \frac{mm^2}{m}$ și un coeficient foarte mic de variație a rezistivității cu temperatura: $(5-10) \cdot 10^{-6}$/grd. Se utilizează pentru construcția rezistențelor etalon.

Constantanul este un aliaj cu 60% Cu și 40% Ni. Are rezistivitatea de $50 \cdot 10^{-2}\ \Omega \frac{mm^2}{m}$ și un coeficient foarte mic de variație a rezistivității cu temperatura (de unde și denumirea de „constantan").

Încălzit, pentru scurt timp (3 s), la o temperatură de 900°C și răcit în aer, se acoperă cu o peliculă de oxid izolantă. Sîrma astfel izolată se poate folosi, înfășurată spiră lîngă spiră, în construcția reostatelor pentru tensiuni mici.

Nichelina este un aliaj cu 25—35% Ni, 2—3% Mn și 67% Cu. Este mai ieftină decît constantanul, are o rezistivitate mai mică și un coeficient mai mare de variație a rezistivității cu temperatura decît al constantanului.

Se utilizează la construcția reostatelor de pornire și reglare.

Conductoarele electrice de bobinaj (STAS 685-49) se execută din cupru sau aluminiu şi se deosebesc după forma şi dimensiunile secţiunii transversale, precum şi după tipul izolaţiei. Secţiunile pot fi rotunde sau dreptunghiulare şi se determină fără să se ţină seama de grosimea izolaţiei.

Conductoarele dreptunghiulare asigură o umplere mai bună la înfăşurare decît cele rotunde.

Izolaţia conductoarelor de bobinaj (STAS 541-49) se fabrică fie din materiale fibroase (hîrtie, bumbac, mătase, azbest sau sticlă), fie dintr-un strat de lac electroizolant (email) care se aplică direct pe suprafaţa cuprului.

Conductoarele pentru linii electrice sînt acelea folosite în instalaţiile electrice de utilizare şi se fabrică din cupru, aluminiu şi uneori din oţel.

După condiţiile de exploatare, se fabrică următoarele tipuri principale ale acestor conductoare:

— *conductoare electrice neizolate* (STAS 1530-50 şi 1023-56), folosite în instalaţiile la consumator; se execută din cupru, aluminiu sau oţel unifilar sau multifilar (funii);

— *conductoare electrice învelite sau izolate* (conducte propriu-zise, şnururi şi cordoane), şi anume: conducte din cupru sau aluminiu masiv

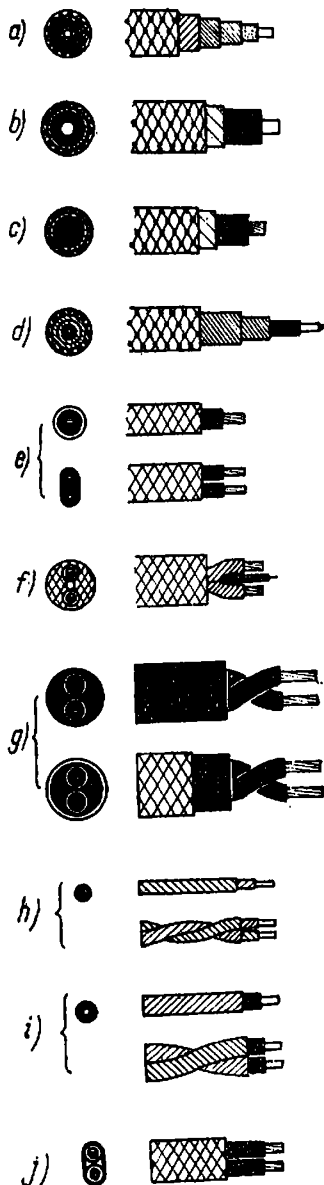


Fig. 10-1. Conducte electrice de cupru

a — învelite, rezistente la întreruperi; *b* — cu izolaţie de cauciuc; *c* — cordon cu izolaţie de cauciuc; *d* — rezistente la intemperii, cu izolaţie de cauciuc; *e* — pentru corpuri de iluminat; *f* — pentru suspendarea corpurilor de iluminat; *g* — cordoane MCU, MCUT, MCM şi MCMT; *h* — conducte de sonerie cu izolaţie de bumbac; *i* — idem, cu izolaţie de cauciuc; *j* — cordon plat cu izolaţie de cauciuc.

sau multifilar cu izolaţia de cauciuc, hîrtie şi bumbac, se folosesc la racordarea la reţea a receptoarelor mobile (STAS 5162-56); pentru a rezista la intemperii (STAS 540-49 şi 4399-54), pentru instalaţii electrice fixe (STAS 526-55) etc. (fig. 10—1).

Conducte de cupru armate (STAS 5577-57) se folosesc numai în instalaţiile electrice fixe, unde se pot ivi îndoiri pronunţate (macarale electrice, poduri rulante, ascensoare etc.) şi se execută din cupru acoperit cu o izolaţie din bumbac cauciucat, peste care se pune o împletitură din fire textile impregnate cu un amestec bituminos, acoperindu-se la exterior printr-un înveliş din fire de oţel zincate.

d. Cabluri electrice

Cablurile electrice de forţă sînt conductoare izolate compuse din unul sau mai multe fire flexibile, înzestrate cu învelişuri de protecţie care apără conductorul şi izolaţia împotriva acţiunii umezelii, deteriorărilor mecanice etc.

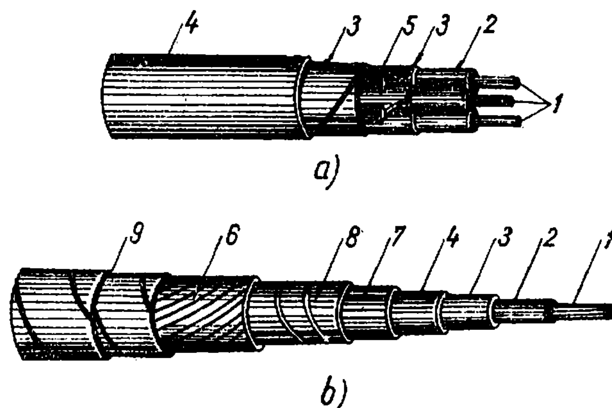


Fig. 10—2. Cabluri cu izolaţie de cauciuc, în manta de plumb:
a — cablu *CP*; b — cablu *CPB*; 1 — cupru; 2 — cauciuc vulcanizat; 3 — bandă de pînză de bumbac cauciucată; 4 — manta de plumb; 5 — umplutură din fire textile; 6 — strat de sfoară de cînepă impregnată; 7 — masă izolantă; 8 — înfăşurare din hîrtie impregnată; 9 — armătură din benzi de oţel.

Ele folosesc la transportul energiei electrice prin linii subterane sau submarine.

Cabluri cu izolaţie de cauciuc în manta de plumb (fig. 10—2) se execută conform STAS 2405-53, pentru tensiuni nominale de

500 V și 3 000 V curent alternativ și 1 000, 3 000 și 6 000 V curent continuu.

Conductoarele de cupru se acoperă cu o înfășurare din bumbac, hîrtie de cablu sau celofan, se izolează apoi cu cauciuc și se acoperă cu o pînză cauciucată pe ambele fețe.

Astfel izolate, conductoarele se înfuniază cu umplutură de fire textile pînă la completarea secțiunii circulare.

Ansamblul este înfășurat în două benzi de pînză cauciucată și îmbrăcat într-o manta de plumb etanșă, peste care se așază diferite învelișuri de protecție (iută sau cînepă impregnată și benzi de oțel protejate împotriva acțiunilor chimice).

Cabluri cu izolație de hîrtie în manta de plumb (fig. 10—3) se execută conform STAS 4481-54, pentru tensiuni de 1 000, 3 000 și 6 000 V. Conductoarele de cupru se izolează cu hîrtie de cablu impregnată cu ulei, apoi se înfuniază împreună cu umplutură din sfoară de hîrtie pînă la completarea secțiunii circulare.

Ansamblul este înfășurat cu mai multe straturi de hîrtie de cablu și apoi îmbrăcat într-o manta etanșă de plumb, peste

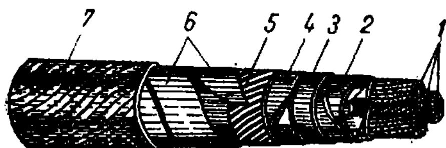


Fig. 10—3. Cablu cu izolație de hîrtie, în manta de plumb:

1 — cupru; *2* — hîrtie impregnată; *3* — manta de plumb; *4* — înveliș de protecție din hîrtie impregnată etc.; *5* — umplutură din materiale textile; *6* — armătură din benzi de oțel; *7* — înfășurare din materiale textile impregnate.

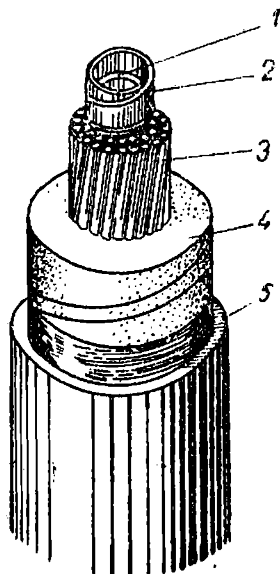


Fig. 10-4. Cablu cu circulație de ulei:

1 — canal pentru ulei; *2* — spirală suport; *3* — conductă; *4* — izolație de hîrtie; *5* — manta de plumb.

care se pune un înveliș protector de iută, cînepă sau alt material asemănător impregnat, și una sau două benzi de oțel protejate de agenții chimici (cablu „armat").

Cabluri cu ulei (fig. 10-4) se execută pentru tensiuni înalte pînă la 120 000 V. Uleiul circulă liber de-a lungul cablului, printr-un canal axial obținut dintr-o spirală de cupru pe care

se înfăşoară conductorul ce formează inima cablului. Canalul este legat cu rezervoare speciale de alimentare umplute cu ulei. Cablul este, de obicei, izolat cu hîrtie şi îmbrăcat în manta de plumb.

3. Materiale semiconductoare

Cărbunele

Cărbunele se prezintă sub trei varietăţi: diamant, grafit şi cărbune amorf.

Greutatea specifică este cuprinsă între 3,51 kg/dm^3 pentru diamant şi 1,3 kg/dm^3 pentru cărbune amorf, iar rezistivitatea, la 20°C, variază de la $4,74 \cdot 10^{14}$ Ω cm pentru diamant (care este deci un izolant electric) la 4 Ω cm pentru cărbunele amorf şi 0,00283 Ω cm pentru grafit.

În electrotehnică se utilizează cărbunele amorf şi uneori grafitul, pentru numeroase produse cum sînt: electrozi, perii, contacte, filamente electrice, rezistenţe pentru încălzire, rezistenţe chimice etc.

Electrozii de cărbune se folosesc la electroliza unor substanţe în stare topită, la cuptoarele electrice cu arc şi cu rezistenţă, la lămpile cu arc şi proiectoare, la elemente galvanice etc., şi sînt de mai multe feluri:

— *electrozi din cărbune amorf*, fabricaţi prin aglomerarea pulberii de cărbune cu catran sau răşini sintetice, urmată de o încălzire îndelungată la circa 1 400°C, pînă ce lianţii se cocsifică;

— *electrozi grafitaţi* cu masă aglomerată la rece, fabricaţi prin presarea pulberii de grafit într-o manta de tablă care constituie învelişul electrodului;

— *electrozi electrografitaţi*, fabricaţi ca şi aceia din cărbune amorf, cu deosebirea că sînt încălziţi la 3 000°C, temperatură la care cărbunele amorf se transformă în grafit;

— *electrozi de metal şi cărbune*, fabricaţi din grafit sau cărbune amorf aglomerat cu pulberi de cupru sau de bronz etc.

Periile de cărbune, fabricate conform STAS 4199-53, servesc drept contacte mobile (alunecătoare) între partea mobilă şi partea fixă a maşinilor electrice.

Din punctul de vedere al compoziţiei, periile se pot clasifica în *perii de cărbune dur* (amorf), *grafitice*, *electrografitice* şi *metalografitice*, fabricarea lor fiind asemănătoare cu aceea a electrozilor.

Cărbunele pentru microfoane, întrebuințat sub formă de granule, blocuri sau membrane, se fabrică din antracit care se granulează și se supune unor tratamente termice în funcție de forma sub care se întrebuințează.

Rezistențele chimice pe bază de cărbune se folosesc în radiotehnică, în tehnica măsurătorilor, la reostate de reglaj etc.

Germaniul

Este un metal de culoare cenușie-deschisă, cu greutatea specifică de 5,36 kg/dm^3 și conductivitatea care variază în limite mari, de la $10^3/\Omega$cm la $10^2/\Omega$cm, după impuritățile pe care le conține.

Germaniul se utilizează la fabricarea redresoarelor uscate (detectoare cu cristal), a diodelor, a tranzistoarelor etc.

Seleniul

Seleniul pur este casant la temperatura obișnuită, dar la 60°C devine plastic și se poate presa în bare.

O proprietate însemnată a seleniului cristalin, care determină utilizarea lui în construcția celulelor fotoelectrice, constă în faptul că prin iluminare, conductivitatea sa electrică crește de circa 15 ori. Intrerupînd iluminarea, conductivitatea electrică scade repede. Același efect îl au asupra lui razele Röntgen și razele provenite prin dezintegrare radioactivă.

Cristalele de seleniu prezintă, de asemenea, o *conductivitate unilaterală*, ceea ce determină utilizarea seleniului în construcția redresoarelor uscate.

Siliciul

Siliciul se prezintă sub formă cristalină sau amorfă. El are greutatea specifică de 2,37 kg/dm^3 și conductivitatea electrică care variază în limite mari: $7.10^2/\Omega$ cm — $10^{-2}/\Omega$cm.

Siliciul se utilizează la fabricarea diferitelor tipuri de detectoare, a amplificatoarelor și pentru diferite aliaje. Un adaos de 4% Si în oțelul folosit ca table de transformator (tole silicioase) reduce pierderile în fier.

4. Materiale izolante

Materialele izolante se împart, după natura lor, în izolanţi organici şi anorganici.

După temperatura la care pot fi utilizate, materialele izolante se împart în trei clase principale de izolaţie A, B şi C (STAS 1898-50 în curs de revizuire.)

In R.P.R. se fabrică aproape toate felurile de materiale izolante.

a. Izolanţi organici

Izolanţii organici sînt compuşi naturali sau sintetici ai carbonului, cu bune proprietăţi de izolare electrică.

Izolanţi organici solizi

Fire şi ţesături electroizolante. Firele şi ţesăturile sînt materiale flexibile formate din fibre vegetale, animale, artificiale sau sintetice.

Firele de bumbac şi *de in* se folosesc la izolarea conductoarelor de bobinaj şi la împletituri de protecţie ale conductelor izolate în cauciuc. Firele de iută se folosesc la executarea învelişurilor de cabluri subterane, iar firele de cînepă la umplerea golurilor izolaţiei la cablurile polifazate.

Firele animale, reprezentate prin mătasea naturală, se folosesc la izolarea sîrmelor subţiri de bobinaje.

Prin impregnare în ulei sau lăcuire, firele îşi măresc rezistenţa mecanică şi electrică, rigiditatea electrică şi conductivitatea termică.

Ţesăturile electro-izolante se fabrică sub formă de benzi, pînze sau ţesături, din firele menţionate. Ele pot fi reimpregnate, lăcuite sau impregnate cu lacuri bituminoase.

Materiale în foi, fibră şi pelicule

Hîrtie electroizolantă se fabrică din celuloză extrasă din lemn sau din fibre de bumbac, in sau iută şi se împarte în mai multe sorturi, după utilizarea pe care o are.

Hîrtia pentru izolarea tolelor magnetice este foarte subţire (grosimea 30μ), are greutatea specifică de 0,67 g/cm^3, este foarte

rezistentă şi este satinată pe o parte pentru a nu forma încreţituri.

Hîrtia pentru cabluri de energie are grosimea de 0,08–0,17 mm, o mare rigiditate dielectrică şi o mare rezistenţă la rupere şi la îndoiri.

Hîrtia pentru condensatoare are o grosime foarte mică (7—24 μ), greutatea specifică variind între 1 şi 0,97 g/cm³, este foarte rezistentă la rupere. Dacă se impregnează cu ulei, tensiunea de străpungere creşte de la 400 kV/cm la 2 500–3 000 kV/cm.

Hîrtia pentru cabluri telefonice are grosimea de 0,05 mm şi trebuie să aibă o rezistenţă mare la tracţiune, la îndoiri duble şi la răsucire.

Cartonul electroizolant sau *electrotehnic* se fabrică, de obicei, din celuloză de lemn şi pastă de cîrpe şi este de mai multe feluri.

Cartonul pentru tuburi de izolare şi de protecţie (STAS 938-50) are grosimea de 0,4—0,8 mm.

Cartonul preşpan (STAS 1746-50) se fabrică în rulouri cu grosimea de 0,1—0,5 mm sau în foi cu grosimea de 1—3 mm. Rigiditatea dielectrică este de circa 100 kV/cm şi creşte mult dacă materialul se usucă şi se fierbe în ulei de transformator. Preşpanul se utilizează mult în construcţia maşinilor, a transformatoarelor şi a aparatelor electrice, pentru separaţii (şaibe) izolaţie de crestătură, izolaţie între straturi şi între spire etc.

Mase plastice

Masele plastice sînt materiale care au proprietatea de a se deforma plastic sub acţiunea temperaturii şi presiunii şi a lua astfel forma dorită. Datorită prelucrării lor uşoare, chiar la forme complicate (presarea în matriţă), precum şi bunelor proprietăţi mecanice şi electrice, ele au o largă întrebuinţare în electrotehnică.

Fenoplastele sînt fabricate din răşini fenol-formaldehidice cu umpluturi organice sau anorganice.

Ele au o rezistivitate de suprafaţă de 10³ — 10⁶ MΩ, o rigiditate dielectrică (pentru grosimea de 4 mm) de circa 17 kV/mm, şi rezistă la temperaturi pînă la 125—150°C.

Aminoplastele sînt fabricate din uree şi formaldehidă cu umplutură de rumeguş de lemn sau celuloză. Ele sînt mai higroscopice şi mai puţin rezistente la temperatură decît fenoplastele.

Polistirenul se obţine prin sinteză din etilenă şi benzen.

Are higroscopicitate redusă şi proprietăţi electroizolante foarte bune, dar se înmoaie la temperaturi relativ mici.

Se utilizează în tehnica frecvenţelor înalte, pentru obţinerea lacurilor utilizate la izolaţia cablurilor etc.

Sticla organică sau *plexiglasul* are greutatea specifică de 1,18 g/cm³, o constantă dielectrică relativă de 3,6, iar sub acțiunea arcului electric, dezvoltă gaze care ajută la stingerea arcului, proprietate care îl face să fie utilizat la stingerea arcului electric în descărcătoare (paratonere).

Materiale plastice stratificate

Pertinaxul se fabrică prin presarea la cald a hîrtiei impregnate cu rășini sintetice (fenol-formaldehidice). Este un material rigid, cu aspect lucios și neted, în formă de plăci sau de tuburi. Are greutatea specifică de 1,05 g/cm³ (tuburi) — 1,4 g/cm³ (plăci), rezistivitatea de volum de circa 10^{10} Ω cm, rezistența la încălzire de 150°C și se poate prelucra mecanic cu ușurință. Pertinaxul se întrebuințează numai în joasă frecvență, la construcția aparatelor de înaltă și joasă tensiune, în telefonie etc.

Textolitul este un material similar cu pertinaxul, fabricat din țesătură impregnată (în loc de hîrtie impregnată). Are proprietăți mecanice mai bune decît pertinaxul, însă proprietățile electrice sînt mai reduse și costul mai ridicat.

Se utilizează la fabricarea pieselor izolante care suportă sarcini de șoc sau sînt supuse frecării (de exemplu, la întreruptoare).

Materiale elastice

Cauciucul natural se obține din sucul lăptos al unor arbori și plante producătoare de cauciuc.

Deoarece în stare pură este *termoplastic*, cauciucul se transformă prin „vulcanizare" (adaos de sulf în amestec și încălzire în autoclave cu abur saturat la temperatura de 140—150°C) într-un material *termoreactiv*.

Cauciucul vulcanizat se utilizează la izolarea conductoarelor și a cablurilor electrice, la confecționarea tuburilor izolante, a mănușilor și galoșilor izolanți, a covorașelor de protecție etc. Deoarece sub influența ozonului ce se produce la descărcările electrice în aer cauciucul „îmbătrînește" (devine fragil și crapă), el nu se întrebuințează decît rar la tensiuni înalte. Un alt dezavantaj îl constituie și rezistența mică la încălzire, la acțiunea uleiurilor minerale și la acțiunea luminii și a razelor ultraviolete.

Dacă se adaugă sulf în cantităţi mai mari (30—35%), se obţine *cauciucul tare* sau *ebonita*, folosită în telecomunicaţii şi în instalaţii electrice de curenţi mici.

Cauciucurile sintetice sînt fabricate pe cale chimică, prin sinteza unor substanţe organice şi au calităţi dielectrice mai scăzute. Se întrebuinţează la tensiuni joase.

Lacuri electroizolante

Lacurile sînt soluţii coloidale ale răşinilor, bitumurilor sau uleiurilor sicative (care formează baza lacului) în solvenţi volatili. Ele se aplică în stare lichidă, iar la uscare, solventul se volatilizează.

Lacurile răşinoase. Lacul de bachelită (soluţia în alcool a bachelitei) are o rezistenţă mecanică bună, însă pelicula este puţin elastică şi are tendinţă de îmbătrînire termică. Se foloseşte în producţia pertinaxului şi textolitului, la izolaţia aparatelor electrice etc.

Lacul de şerlac (soluţia şerlacului în alcool) are proprietăţi mecanice şi electrice bune, aderenţă mare, însă este higroscopic şi are aciditate mare. Deoarece se usucă în aer, se utilizează pentru reparaţii urgente, şi pentru lipit.

Lacurile de celuloză sînt soluţiile unor compuşi ai celulozei. Pelicula are rezistenţă mecanică mare, este lucioasă şi rezistentă la benzină şi ulei.

Avînd o aderenţă redusă la metale, se utilizează în special la impregnarea ţesăturilor de bumbac, a conductoarelor care funcţionează în medii de benzină, ulei sau ozon (conductoare de automobil şi avion).

Lacurile uleioase sînt fabricate pe bază de uleiuri sicative (ulei de in şi de tung). Pelicula este tare, lucioasă, foarte elastică şi rezistentă la ulei, nu se înmoaie la căldură, însă îmbătrîneşte cu timpul. Se întrebuinţează ca emailuri, ca lacuri de acoperire şi de impregnare.

Mase izolante (compounduri)

Compoundurile sînt mase izolante folosite la impregnare, acoperire sau umplere, obţinute prin tratamente speciale.

Ele pot fi solide (fabricate pe bază de bitumuri şi răşini), vîscoase (pe bază de ulei mineral) sau lichide (din ulei de transformator rafinat).

Bitumul este folosit în special la impregnări, în construcția mașinilor electrice. El asigură o impregnare mai rezistentă la umezeală și mai impermeabilă decît aceea dată de lacuri, în schimb — fiind termoplastic — este mai puțin rezistent la încălzire.

Parafina este un material ceros ce se obține din țiței parafinos. Are stabilitate chimică mare, însă la temperaturi ridicate se oxidează ușor.

Se folosește, împreună cu alte materiale ceroase similare (cerezina, galovaxul, aleovaxul etc.), la impregnarea hîrtiei de condensatoare, la umplerea bobinelor de înaltă frecvență etc.

Izolanți organici lichizi

Uleiuri minerale

Uleiul de transformator. Uleiul de transformator (STAS 811-52) se extrage prin distilarea fracționată a țițeiurilor neparafinoase, urmată de o rafinare. El are constanta dielectrică $\varepsilon_r = 2{,}3$– rezistivitatea de $5 \cdot 10^{14} - 10^{15}$ Ω cm și rigiditatea dielectrică de 125 kV/cm.

Viscozitatea redusă permite pătrunderea lui în izolația bobinelor; punctul de inflamabilitate ridicat (145°C) micșorează pericolul de inflamare sau de explozie, iar punctul de congelare coborît (—20° la —30°C) permite folosirea lui la aparate montate în exterior.

Apa și impuritățile din uleiul de transformator reduc sensibil rigiditatea dielectrică și măresc pierderile dielectrice; de aceea, uleiurile trebuie curățite periodic. Curățirea uleiurilor se poate face prin uscare (încălzirea uleiului), filtrare, centrifugare sau decantare.

Uleiul de condensator se obține prin purificarea uleiului de transformator. El are o rigiditate dielectrică mai mare (200 kV/cm) și pierderi în dielectric mai mici.

Uleiuri sintetice

Sovolul. Este un lichid neinflamabil, viscos și toxic, cu o rigiditate dielectrică de 140—200 kV/cm.

Sovtolul (64% sovol și 36% triclorbenzen) are aceleași proprietăți ca și sovolul, însă spre deosebire de acesta are un punct de congelare mai scăzut (—30°C față de + 5°C), ceea ce prezintă un avantaj.

Uleiurile sintetice se întrebuințează la impregnarea hîrtiei de condensatoare (sovolul) sau în transformatoare (sovtolul).

Uleiuri vegetale

Uleiul de ricin (STAS 2317-51) se obține din sămînță de ricin, are o viscozitate mai mare decît uleiul de transformator, constanta dielectrică

$\varepsilon_r = 4{,}2-4{,}5$, rezistivitatea, la 20°C, de $10^{10}-10^{12}$ Ω cm și rigiditatea dielectrică de 120—180 kV/cm.

Se utilizează la impregnarea condensatoarelor de hîrtie pentru tensiuni continue.

b. Izolanți anorganici

Izolanții anorganici sînt materiale izolatoare din punct de vedere electric, care nu au carbon în constituție, și din această cauză rezistă la temperaturi mai înalte, nu ard și au punctul de topire foarte ridicat. Față de izolanții organici, sînt mai fragili și se prelucrează mai greu.

Azbestul este un material fibros, cu structura cristalină, compus din silicat de magneziu. Se folosește pentru izolații rezistente la temperaturi ridicate și la fabricarea anumitor mase plastice. Se fabrică sub forme de fire, sfoară, țesături, hîrtie și carton. Azbestul, amestecat cu ciment și cu apă, dă prin presare la rece, *azbocimentul*, folosit la execuția pereților camerelor de stingere a arcului electric în aparatele electrice, a tablourilor de distribuție, a postamentelor etc.

Mica este un material anorganic cristalin, stratificat, compus din silicați de metale alcaline, care se desface în foițe foarte subțiri (0,01 mm) și are proprietăți electroizolante, elasticitate și flexibilitate remarcabile. Se folosește ca izolant, atît la temperaturi mari, cît și la șocuri de temperatură, la joasă ca și la înaltă tensiune, ca izolant la colectoarele mașinilor electrice, la bobinaje, în condensatoare electrice, în aparate de încălzit etc.

Sticla. În electrotehnică, sticla se întrebuințează la fabricarea lămpilor electrice și a izolatoarelor. Din fire de sticlă se fac izolații electrice. Țesăturile de sticlă se execută în benzi (pentru izolarea mașinilor electrice) sau în țesături late (pentru fabricarea textolitului special și a unor micanite). Din sticlă se execută, de asemenea, emailuri, care se aplică uniform pe piese de metal, pe rezistențe electrice etc., ca strat izolant sau de protecție.

Materiale ceramice. Materialele ceramice se folosesc în electrotehnică la fabricarea izolatoarelor de joasă și înaltă tensiune, a condensatoarelor și a suporturilor rezistențelor, reostatelor și aparatelor.

Pietre naturale ceramice. În această categorie intră diverse roci care se folosesc în starea în care se găsesc în natură. Aceste

materiale sînt: *bazaltul*, *marmura* și *ardezia*. Dintre ele, marmura are cea mai largă întrebuințare; este folosită la fabricarea plăcilor pentru tablouri de distribuție, a suporturilor de aparate etc.

5. Materiale magnetice

Materialele magnetice se împart, după mărimea ciclului de histerezis, în materiale magnetice moi (ciclu îngust) și dure (ciclu larg).

a. Materiale magnetice moi

Acestea sînt materiale magnetice caracterizate prin permeabilitate mare, forță coercitivă mică și pierderi prin histerezis mici. Ele au ca material de bază fierul pur sau în aliaj cu alte metale. Impuritățile, cum sînt: carbonul, sulful, fosforul, siliciul, au influențe dăunătoare asupra calităților magnetice ale fierului și aliajelor lui, mărind forța coercitivă, micșorînd permeabilitatea și inducția de saturație.

Adaosurile, ca nichelul și cobaltul, influențează favorabil proprietățile magnetice, producînd permeabilitate mare și inducție de saturație mare. Siliciul mărește rezistivitatea materialului, deci micșorează pierderile prin curenți turbionari și favorizează separarea carbonului, ceea ce are drept rezultat micșorarea forței coercitive și a pierderilor prin histerezis.

Aluminiul, în procente de 10—16%, imprimă permeabilitate foarte mare și pierderi mici.

Prelucrările mecanice înrăutățesc simțitor calitățile magnetice, mărind în special forța coercitivă.

Tratamentele termice permit îmbunătățirea calităților mecanice și magnetice. Ele se aplică atît după turnarea materialului, cît și după prelucrările mecanice.

Fierul. Fierul are permeabilitatea inițială de 250—500, permeabilitatea maximă 5 000—15 000 (permeabilități relative), forța coercitivă 0,36—0,8 Oe și inducția de saturație circa 20 000 Gs. Din fier se construiesc piesele polare și miezurile pentru bobine, în mașinile electrice, juguri pentru electromagneți, carcase pentru ecranare magnetică etc. Fierul carbonil, obținut prin aglomerare cu lianți a pulberii de fier, este folosit la miezurile bobinelor utilizate în înaltă frecvență.

Fonta și oțelul turnat se deosebesc de fier prin conținutul în carbon. Au proprietăți mecanice și magnetice bune. Se folosesc în construcția mașinilor și aparatelor electrice, ca miezuri de poli și de electromagneți, carcase etc., avînd uneori rolul dublu de material magnetic și de piese mecanice.

Aliajele fier-siliciu. Tabla silicioasă. Siliciul se adaugă în procente variind de la 0,5 la 4,5%, în scopul reducerii pierderilor prin curenți turbionari. Pierderile totale, la o inducție maximă de 10 000 Gs, variază atunci de la 3,6 la 1,7 W/kg. Dezavantajul principal al introducerii siliciului ca element de aliere constă în reducerea inducției de saturație și în mărirea fragilității, ceea ce limitează procentul de siliciu la 4,5%. Grosimea tablelor este de 0,35; 0,5; 0,75; 1 și 1,5 mm. Tablele se izolează pe una din fețe prin oxidare, lăcuire sau lipirea unei foițe de hîrtie.

Aliajele fier-nichel se deosebesc prin pierderi magnetice mici și permeabilitate mare în cîmpuri magnetice slabe, fapt pentru care multe dintre ele poartă denumirea de *permalloy*. Permalloyul are permeabilitatea relativă inițială 10 000, cea maximă 100 000, forța coercitivă 0,02 Oe și inducția maximă 6 000 Gs. Din permalloy se confecționează miezuri de fier pentru aparate de telecomunicații, pentru aparate de măsurat de mare precizie, pentru transformatoare speciale, relee speciale, ecrane magnetice etc.

Aliaje speciale. În scopuri speciale s-au realizat aliaje magnetice cu proprietăți remarcabile. Astfel, *supermalloyul* are permeabilitatea relativă maximă de 1 500 000 și forța coercitivă foarte mică, de 0,005 Oe. Ciclul său de histerezis este practic un dreptunghi foarte subțire.

Permendurul este un aliaj de fier și cobalt cu inducția de saturație mărită (24 500 Gs).

Perminvarul (fier + nichel + cobalt) este un material cu permeabilitatea magnetică practic constantă.

Feritele sînt compuși de metale (nichel, mangan, zinc, cupru etc.) și oxid de fier, măcinate fin și presate (sinterizate). Se folosesc în curenți de înaltă frecvență, ca miezuri de bobine.

b. Materiale magnetice dure

Aceste materiale au forța coercitivă, inducția remanentă și suprafața ciclului de histerezis mari. Din materiale magnetice dure se fabrică magneți permanenți.

Oțeluri magnetice. Oțelurile elaborate în cuptoare Siemens-Martin sau în cuptoare electrice cu arc au calități magnetice

bune, dacă nu conțin carbon, sulf și fosfor. Wolframul, cromul, cobaltul sînt adaosuri favorabile.

Tratamentele termice îmbunătățesc calitățile magnetice ale oțelurilor și constau în general în călirea materialului.

Aliaje de aluminiu și nichel (AlNi). Sînt aliaje de fier cu nichel (14—22%) și aluminiu (9—15%), uneori în compoziție intrînd și cobaltul (12—24%) și cuprul (3—4%) (Alnico). Inducția remanentă este $B_r = 5\,000 - 12\,000$ Gs, iar forța coercitivă $H_c = 750 - 500$ Oe. Un procedeu de îmbunătățire a calității magneților permanenți constă în turnarea și răcirea lor în prezența unui cîmp magnetic constant.

Magneți sinterizați. Materialele magnetice Alni și Alnico au dezavantajul că nu pot fi prelucrate mecanic decît prin rectificare. Din această cauză, s-a recurs la fabricarea magneților permanenți prin sinterizare, din pulberile diferitelor elemente care constituie oțelul Alni sau Alnico, bine amestecate între ele și presate. Operația este rentabilă numai pentru piese mici, cu o greutate sub 50 g și în cantități mai mari decît 10 000 de bucăți. Prin această metodă se fabrică magneți pentru: picupuri, căști de radio și de telefon, relee, aparate de măsurat, giroscoape, motoare și generatoare mici etc.

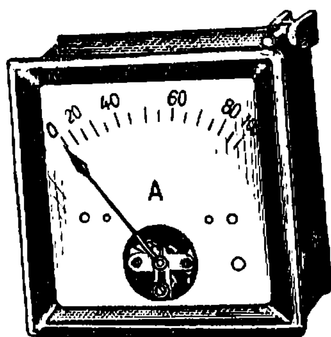
Capitolul XI

Măsurări electrice

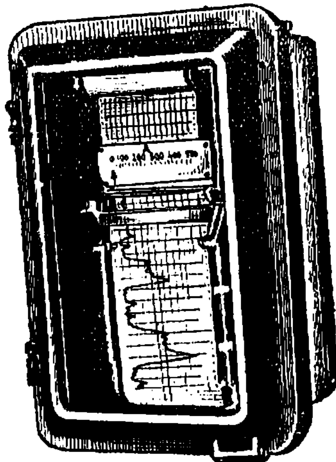
1. Generalități asupra aparatelor electrice de măsurat

Fabricarea în țara noastră a aparatelor electrice de măsurat a început numai după 23 August 1944, la fabricile Grigore Preoteasa, Electroprecizia, Electronica ș.a. create de regimul de democrație populară.

Principalele aparate electrice de măsurat sînt: ampermetrele — pentru măsurarea curentului; voltmetrele — pentru măsurarea tensiunii; ohmmetrele — pentru măsurarea rezistenței; wattmetrele — pentru măsurarea puterii; contoarele — pentru măsurarea energiei; cosfimetrele sau fazmetrele — pentru măsu-



a)



b)

Fig. 11-1. Ampermetre:
a — indicator; *b* — înregistrator.

rarea factorului de putere sau a diferenţei de fază; frecvenţmetrele — pentru măsurarea frecvenţei.

După cum aparatul indică mărimea măsurată în multipli sau submultipli ai unităţii de măsurare, se numeşte corespunzător: miliampermetru, kiloampermetru, kilowattmetru, megawattmetru, megohmmetru etc.

Tabela 11-1

Aparatele de măsurat întîlnite în mod curent în industrie

Mărimea măsurată	Denumirea aparatelor	Semnul convenţional folosit în schemele electrice
Curent	ampermetru kiloampermetru miliampermetru galvanometru	A, KA, mA, G
Tensiune	voltmetru kilovoltmetru milivoltmetru	V, KV, mV
Rezistenţa electrică	ohmmetru megohmmetru	Ω, MΩ
Puterea electrică (activă)	wattmetru kilowattmetru	W, KW
Energie electrică: a) activă b) reactivă	contor de energie activă contor de energie reactivă	Kwh, Kvarh
Factorul de putere (defazajul)	cosfimetru (fazmetru)	φ
Frecvenţa	frecvenţmetru	Hz

În tabela 11—1 sînt arătate, după mărimea măsurată şi unitatea de măsurare în care se exprimă rezultatul măsurării, aparatele electrice de măsurat întîlnite în mod curent în industrie.

După modul cum indică valoarea mărimii măsurate, aparatele electrice de măsurat pot fi:

— *aparate indicatoare*, care dau valoarea mărimii măsurate în momentul măsurării. Ele formează marea majoritate a aparatelor folosite în practică, la care valoarea mărimii este indicată de un ac indicator care se mişcă în faţa unei scări gradate (fig. 11—1,*a*). Ele se reprezintă pe scheme printr-un cerc în care se scrie unitatea de măsură (fie multiplii şi submultiplii ei);

— *aparate înregistratoare*, care înscriu cu cerneală, pe o hîrtie cu mişcare uniformă, curba variaţiei mărimii respective în funcţie de timp. Pe scheme ele se simbolizează printr-un pătrat cu aceeaşi notaţie ca mai sus. Aceste aparate au şi ac indicator, care permite citirea în fiecare moment a valorii mărimii (fig. 11—1,*b*);

— *aparate integratoare sau contoare* sînt aparatele care măsoară mărimi în expresia cărora intră şi timpul (energia activă, energia reactivă etc.). Pe scheme ele se reprezintă printr-un pătrat cu un dreptunghi deasupra lui.

După felul curentului la care pot fi utilizate, aparatele sînt:

— de curent continuu;

— de curent alternativ;

— de curent continuu şi alternativ.

În general, orice aparat de măsurat are următoarele elemente componente principale:

— un *organ* (sau dispozitiv) *de măsurare*, care funcţionează pe baza unuia din principiile care se vor arăta mai departe;

— un *ac indicator*, solidar cu partea mobilă a dispozitivului de măsurare;

— un *cadran cu o scară gradată* în faţa căreia se mişcă acul indicator;

— unul sau mai multe *arcuri pentru producerea cuplului antagonist*, de sens contrar cu cuplul produs de dispozitivul de măsurat;

— un *corector* pentru reglarea acului pe reperul zero;

— un *amortizor* pentru a amortiza oscilaţiile acului;

— *carcasa* în care este cuprins aparatul;

— *bornele* pentru legarea aparatului în circuit.

După principiul pe care se bazează funcţionarea aparatelor electrice de măsurat (propriu-zis funcţionarea dispozitivului de măsurat), aparatele întîlnite mai des sînt: aparate magnetoelectrice, aparate electromagnetice, aparate electrodinamice, aparate termice, aparate de inducţie, aparate de vibraţie.

Aparate magnetoelectrice. Un asemenea aparat (fig. 11—2) este constituit dintr-un magnet permanent *M*, o bobină *B*, un ac indicator *A*, menţinut în poziţia de zero prin *arcul antagonist R*

(care se opune mişcării acului) şi o scară gradată S. Bobina este străbătură de curent şi se poate roti în jurul axului O sub influenţa forţelor electromagnetice F, ce iau naştere din cauza faptului că în cîmpul magnetic se găsesc o serie de spire parcurse de curent electric. Aceste forţe se exercită asupra curenţilor din spirele plasate perpendicular pe planul hîrtiei şi ele constituie un cuplu electromagnetic, care roteşte bobina. Deoarece forţele electromagnetice sînt proporţionale cu curentul I care le produce, cuplul de rotaţie C va fi, de asemenea, proporţional cu I, adică

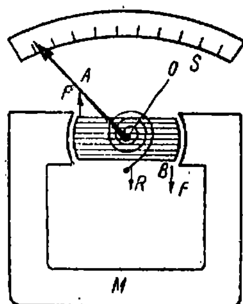


Fig. 11-2. Aparat magnetoelectric.

$$C = kI, \qquad (11.1)$$

unde k este un factor constant de proporţionalitate.

O dată cu bobina se roteşte şi acul indicator, pînă cînd arcul este întins atît de tare, încît cuplul său rezistent C_r ajunge să echilibreze cuplul electromagnetic C, care depinde de valoarea I a curentului care trece prin bobina B; deci unghiul α de rotaţie a acului indicator depinde de valoarea curentului I.

Scara gradată în faţa căreia se mişcă vîrful acului se etalonează direct în amperi sau în volţi, după cum aparatul este un ampermetru sau un voltmetru. Pe acest principiu se construiesc ampermetrele, voltmetrele şi ohmmetrele magnetoelectrice.

Deoarece cuplul electromagnetic C este proporţional cu curentul I, rezultă că, în cazul curentului alternativ, cuplul va fi alternativ şi va tinde să deplaseze bobina şi acul (adică *echipajul mobil*) cînd într-un sens, cînd în sensul contrar. Din această cauză, aparatele magnetoelectrice nu pot fi folosite decît în curent continuu.

Aparate electromagnetice. Organul de măsurare este alcătuit dintr-o bobină B (fig. 11—3), străbătută de curent, o armătură de oţel moale F, un ac indicator A, menţinut în poziţia de zero de arcul antagonist R şi o scară gradată S. Cînd bobina B este străbătută de curentul I, asupra armăturii F se exercită o forţă de felul forţei portante pe care o exercită un electromagnet şi care, după cum se ştie, este proporţională cu pătratul inducţiei magnetice. Deoarece inducţia magnetică este proporţională cu intensitatea curentului care produce această inducţie magnetică, forţa care

atrage armătura F este proporţională cu I^2. Armătura putîndu-se roti în jurul unui ax de rotaţie, după cum se observă pe figură, forţa de atracţie creează un cuplu C, de asemenea proporţional cu I^2.

Scara se etalonează în amperi sau în volţi. Deoarece cuplul C, care acţionează asupra echipajului mobil, este proporţional cu pătratul curentului (I^2), rezultă că acest cuplu va avea totdeauna o valoare pozitivă, oricare ar fi sensul curentului, dat fiind că pătratul unei valori este totdeauna pozitiv. În consecinţă, aparatele electromagnetice pot fi întrebuinţate fie în curent continuu, fie în curent alternativ. Aceste aparate fiind mai robuste, se întîlnesc foarte des în practică. Pe acest principiu se construiesc ampermetrele şi voltmetrele electromagnetice.

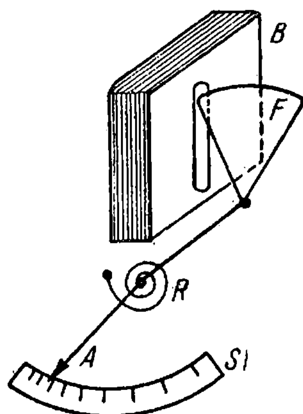


Fig. 11-3. Aparat electromagnetic.

Aparate electrodinamice. Se consideră (fig. 11—4) o bobină fixă B_f şi o bobină mobilă B_m şi care se poate roti în jurul axului O. Se presupune că cele două bobine sînt legate în serie din punct de vedere electric, fiind străbătute de curentul I. Bobina mobilă este solidară cu acul indicator A ce se poate deplasa în faţa scării gradate S; acul indicator este menţinut în poziţia de zero prin arcul antagonist R. Deoarece, după cum se ştie, forţele electrodinamice între curenţii ce trec prin bobine sînt proporţionale cu I^2, cuplul de rotaţie pe care bobina fixă îl exercită asupra bobinei mobile va fi de asemenea proporţional cu I^2, ca şi în cazul aparatelor electromagnetice. Aceste aparate pot fi utilizate deci, fie în curent continuu, fie în curent alternativ, întrucît cuplul de rotaţie proporţional cu pătratul curentului nu se modifică atunci cînd se schimbă sensul acestuia. Putîndu-se construi pentru o precizie de măsu-

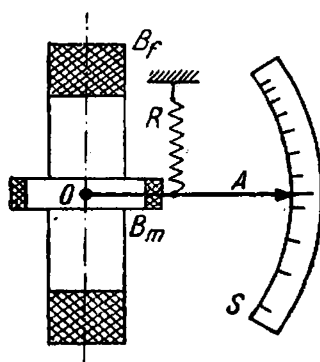


Fig. 11-4. Aparat electrodinamic.

rare mai mare, aparatele electrodinamice se întrebuinţează de obicei în laborator ca ampermetre, voltmetre şi wattmetre.

Aparate termice. Între punctele fixe *a* şi *b* (fig. 11—5) este întins un fir calibrat executat dintr-un aliaj de platină cu argint, platină cu iridiu sau nicrom (nichel cu crom). Între mijlocul *c* al firului *ab* şi punctul fix *d* este prins un fir de bronz *cd*, care în punctul *e* este tras lateral prin intermediul firului de mătase *eg*, de către arcul *R*, constituit dintr-o lamă flexibilă.

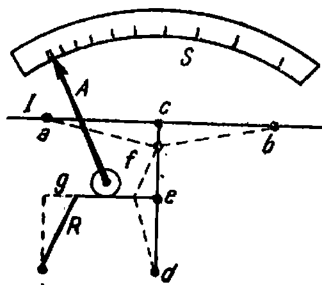
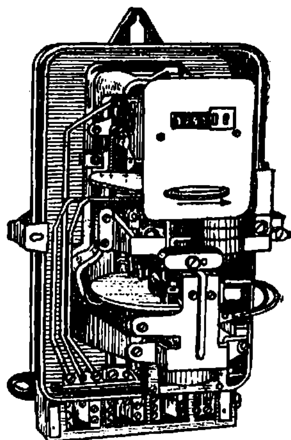


Fig. 11–5. Aparat termic.

Prin firul *acb* trece curentul *I*. Firul se încălzeşte, căldura degajată fiind proporţională cu I^2, pe baza efectului Lenz-Joule. Din cauza încălzirii, firul *acb* se dilată, astfel încît arcul *R* poate trage spre stînga punctul *e* şi în acest timp firul de mătase *eg* învîrteşte rotiţa *f*, solidară cu acul indicator *A*, care se mişcă în faţa scării gradate *S* cu un unghi proporţional cu I^2.

Aparatele termice pot de asemenea funcţiona, fie în curent continuu, fie în curent alternativ, dat fiind că această funcţionare se bazează pe un fenomen care depinde de pătratul curentului. Au însă dezavantajul de a fi fragile şi de a nu putea suporta suprasarcini; din această cauză se întrebuinţează în cazuri speciale (de exemplu la frecvenţe mari). Pe acest principiu se construiesc ampermetrele şi voltmetrele termice.

Aparate de inducţie. Funcţionarea lor se bazează pe acţiunea dintre cîmpurile magnetice alternative produse de una sau de mai multe bobine străbătute de curenţi alternativi şi curenţii turbionari induşi de aceste cîmpuri într-o piesă mobilă în formă de cilindru sau de disc. Ca urmare, cilindrul sau discul se rotesc. În figura 11—6 este reprezentată construcţia unui contor de inducţie.


Fig. 11–6. Contor de inducţie.

Pe acest principiu se construiesc ampermetre, voltmetre, wattmetre, contoare. *Aceste aparate pot funcţiona numai în curent alternativ.*

Aparate de vibraţie. Se bazează pe rezonanţa mecanică a unor lame vibrante. O serie de lame vibrante, cu frecvenţă de rezo-

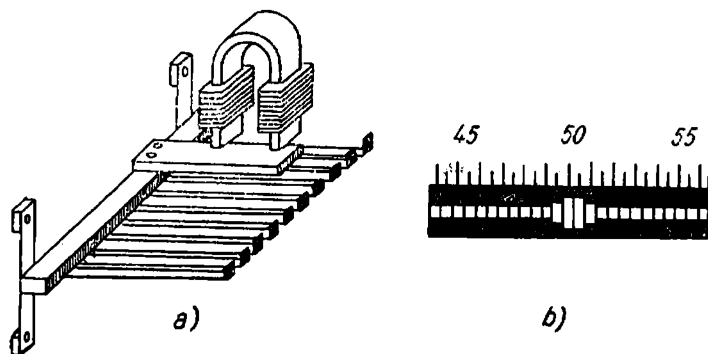


Fig. 11-7. Frecvenţmetru de vibraţie:
a — construcţie; *b* — aspectul scării cînd frecvenţa măsurată este de 50,25 Hz.

nanţă diferite, sînt solicitate să vibreze, prin intermediul unui electromagnet, cu frecvenţa curentului care trece prin bobina acestuia (fig. 11—7).

Lama a cărei frecvenţă proprie coincide cu frecvenţa curentului va intra în rezonanţă. Pe acest principiu se bazează construcţia frecvenţmetrelor de vibraţie.

2. Eroarea aparatelor. Clasa de precizie

În general indicaţia A_i a unui aparat diferă de valoarea reală A, a mărimii măsurate. Aparatul are o *eroare de indicaţie*:

$$\Delta A = A_i - A. \qquad (11.\ 2)$$

Raportul dintre eroarea de indicaţie într-un punct oarecare al scării şi valoarea maximă (A_{max}) pe care o poate măsura aparatul (limita superioară de măsurare) se numeşte eroarea raportată a aparatului (ε):

$$\varepsilon = \frac{\Delta A}{A_{max}}. \qquad (11.3)$$

Din acest punct de vedere, aparatele electrice de măsurat se construiesc în următoarele clase de precizie:

clasa 0,2 la care eroarea raportată este de maximum $\pm 0,2\%$;
clasa 0,5 la care eroarea raportată este de maximum $\pm 0,5\%$;
clasa 1 la care eroarea raportată este de maximum $\pm 1\%$;
clasa 1,5 la care eroarea raportată este de maximum $\pm 1,5\%$;
clasa 2,5 la care eroarea raportată este de maximum $\pm 2,5\%$.

Aparatele de clasă 0,2 şi 0,5 se folosesc ca aparate de laborator. Cele de clasă 0,5 şi de clasă 1 se folosesc ca aparate de măsurat şi control industriale, transportabile. Aparatele de clasă 1,5 şi 2,5 şi mai rar de clasă 1 se folosesc ca aparate de tablou şi aparate înregistratoare pentru măsurătorile industriale de exploatare.

3. Marcarea aparatelor de măsurat

Pe cadranul fiecărui aparat sînt înscrise următoarele caracteristici principale, pentru a putea cunoaşte aparatul şi a-l utiliza în bune condiţii:

a) Simbolul unităţii de măsură a mărimii pe care o măsoară aparatul, de exemplu: *A*, mA, kA, V, kV, W, MW etc.

b) Principiul de funcţionare al aparatului, folosind semnele convenţionale din tabela 11—2.

c) Felul curentului cu care funcţionează aparatul, folosind semnele convenţionale din tabela 11—3.

d) Poziţia normală de funcţionare a aparatului, folosind semnele convenţionale din tabela 11—4.

e) Clasa de precizie a aparatului.

f) Tensiunea de încercare a izolaţiei aparatului, indicată în kV printr-un număr scris în interiorul unei steluţe sau alături de o săgeată. De exemplu, o tensiune de încercare a izolaţiei de 2 kV se va înscrie prin semnul ☆(2) sau prin semnul ϟ 2 kV.

g) Frecvenţa la care funcţionează aparatul, dacă aceasta diferă de 50 Hz.

h) La aparatele de clasa 0,2 şi 0,5 se înscriu pe cadran şi rezistenţele interioare ale aparatului.

Condiţiile tehnice pe care trebuie să le îndeplinească aparatele electrice de măsurat sînt indicate prin STAS 4640-54.

Tabela 11–2

Semne convenționale pentru indicarea principiului de funcționare a unui aparat de măsurat

Felul aparatului	Semnul convențional	Felul aparatului	Semnul convențional
Aparat magnetoelectric		Aparat de inducție	
Aparat electromagnetic		Aparat de vibrație	
Aparat electrodinamic		Aparat cu redresor	
Aparat termic		Aparat cu termocuplu	

Tabela 11–3

Semne convenționale pentru indicarea felului curentului pentru aparatele de măsurat

Felul curentului	Semnul convențional
Curent continuu	— sau =
Curent alternativ	∼
Curent continuu și alternativ	$\overline{\sim}$
Curent alternativ trifazat, sarcini echilibrate	≋
Curent alternativ trifazat, sarcini dezechilibrate	≋
Curent alternativ trifazat cu patru conductoare..	≋

Tabela 11–4

Semne convenționale pentru indicarea poziției normale de funcționare a unui aparat de măsurat

Poziția normală de funcționare a aparatului	Semnul convențional
Verticală	sau ⊥
Orizontală	→ sau
Înclinată	∠ 60°

4. Măsurarea curentului

Curentul se măsoară cu ampermetrul. Ampermetrul se leagă în serie cu receptorul prin care trece curentul (fig. 11—8, *a*). De aceea, pentru a nu modifica sensibil curentul din circuit, rezistenţa, respectiv în curent alternativ impedanţa ampermetrului, trebuie să fie cît mai mică (de ex. 0,07 Ω pentru un ampermetru electromagnetic şi 0,48 Ω pentru un ampermetru înregistrator).

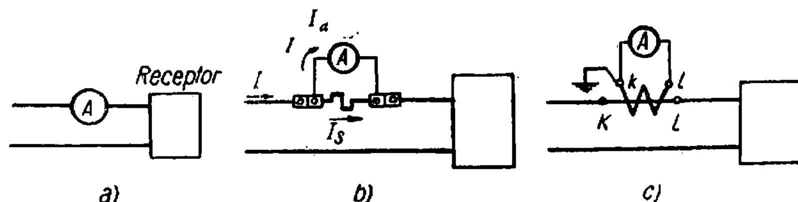


Fig. 11–8. Legarea în circuit a ampermetrului: *a* — direct; *b* — prin şunt; *c* — prin transformator de curent.

Rezistenţa ampermetrului fiind mică şi puterea consumată de el va fi mică (între 0,2 şi 12 VA).

Dacă din greşeală se leagă un ampermetru direct la bornele circuitului (în paralel cu receptorul şi nu în serie cu acesta — aşa cum este corect), aceasta echivalează cu o legătură în scurtcircuit la bornele circuitului; prin ampermetru va trece un curent foarte mare, astfel încît aparatul va suferi defecţiuni mecanice (ruperea acului), iar bobinajul lui se va încălzi peste limitele admise şi se va arde.

Aplicaţie. Un ampermetru electromagnetic de 5 A are o rezistenţă interioară $r_a = 0{,}07\ \Omega$. Ce curent va trece prin aparat dacă din greşeală el va fi legat direct la bornele unui circuit cu tensiunea $U = 220$ V? Care este puterea absorbită la curentul de 5 A?

R e z o l v a r e. Prin aparat va trece un curent

$$I = \frac{U}{r_a} = \frac{220}{0{,}07} = 3\ 142\ \text{A},$$

care va deteriora ampermetrul.

Puterea consumată la 5 A va fi

$$P = r_a I^2 = 0{,}07 \cdot 5^2 = 1{,}75\ \text{W}.$$

Extinderea limitei de măsurare. Curentul pe care îl poate măsura direct un ampermetru este curentul notat pe cadranul lui

(limita de măsurare). Practic, ampermetrele se construiesc de obicei pentru a măsura direct curenţi pînă la 100 A. Pentru a folosi un ampermetru la măsurarea unui curent mai mare decît limita sa de măsurare, se folosesc şunturi şi transformatoare de curent.

Şuntul are o rezistenţă care se leagă în serie pe circuitul la care se măsoară curentul, în locul ampermetrului, iar ampermetrul se leagă în derivaţie la bornele şuntului (fig. 11–8, *b*).

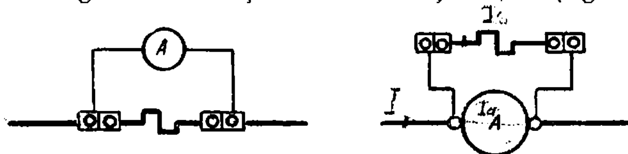


Fig. 11–9. Legarea greşită a unui ampermetru cu şunt.

Şuntul are 4 borne; două borne (extreme) pentru conectarea şuntului în circuit şi alte două borne pentru conectarea ampermetrului la şunt. În figura 11–9 se arată legarea greşită a unui ampermetru cu şunt.

Calculul şuntului. Notăm cu I curentul pe care vrem să-l măsurăm şi care este de $n=\frac{I}{I_a}$ ori mai mare decît limita de măsurare I_a a ampermetrului. Fie r_a rezistenţa ampermetrului şi $r_ş$ rezistenţa şuntului. Ţinînd seama de notaţiile de pe figura 11–8, *b* şi aplicînd legile lui Kirchhoff se obţin ecuaţiile:

$$I = I_a + I_ş,$$

$$r_a I_a = r_ş I_ş,$$

din care, ţinîndu-se seamă că $n = \frac{I}{I_a}$, rezultă:

$$r_ş = \frac{r_a I_a}{I - I_a} = \frac{r_a}{n-1}. \quad (11.3)$$

În figura 11–10 sînt reprezentate cîteva şunturi.

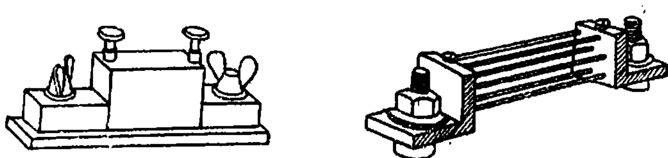


Fig. 11–10. Şunturi.

Pe fiecare şunt se notează curentul maxim care poate fi măsurat şi căderea de tensiune la bornele şuntului, corespunzătoare curentului maxim, cînd ampermetrul este legat în derivaţie, de exemplu: 25 000 A şi 75 mV. Pentru ampermetrele la care diviziunile de pe scară corespund funcţionării cu şunt se indică şi şuntul care trebuie folosit; pe ampermetru se scrie: cu şunt nr...

5. Măsurarea tensiunii

Tensiunea se măsoară cu voltmetrul. Voltmetrul se leagă în derivaţie (în paralel) cu porţiunea de circuit a cărei tensiune o măsurăm (fig. 11–11, *a*). Astfel, pentru măsurarea tensiunii unui receptor, voltmetrul se leagă în derivaţie la bornele receptorului; pentru a măsura tensiunea unui generator, voltmetrul se leagă în derivaţie la bornele generatorului etc.

Pentru a nu provoca apariţia unui curent suplimentar pe circuit şi a nu modifica astfel tensiunea circuitului, rezistenţa interioară a voltmetrului trebuie să fie cît mai mare (de ordinul sutelor şi miilor de ohmi, iar în unele cazuri, al sutelor de mii de ohmi).

Rezistenţa voltmetrului fiind mare, curentul prin el va fi mic şi puterea absorbită va fi şi ea mai mică (comparabilă cu aceea absorbită de un ampermetru).

Voltmetrul legat din greşeală în serie cu receptorul nu este pus în pericol; în schimb, mărindu-se mult rezistenţa întregului circuit, receptorul nu poate funcţiona. Curentul care trece prin voltmetru este proporţional cu tensiunea măsurată. Conductoarele circuitului voltmetrului sînt calculate pentru curentul corespunzător tensiunii maxime înscrise pe scara sa. Legînd voltmetrul la o tensiune superioară acestuia, prin el va trece un curent mai mare, care va produce, prin încălzire, deteriorarea voltmetrului.

Extinderea limitei de măsurare se face cu ajutorul rezistenţelor adiţionale şi al transformatoarelor de tensiune.

Rezistenţa adiţională este o rezistenţă care se leagă în serie cu voltmetrul (fig. 11–11, *b*), pentru a mări rezistenţa circuitului voltmetrului, astfel încît, legînd aparatul la o tensiune superioară limitelor sale de măsurare, curentul prin aparat să nu atingă valoarea periculoasă, arătată mai sus.

Calculul rezistenţei adiţionale. Notăm cu U tensiunea pe care vrem să o măsurăm şi care este de $n = \frac{U}{U_v}$ ori mai mare decît

limita de măsurare U_v a voltmetrului. Fie I_v curentul prin voltmetru corespunzător limitei de măsurare (deci curentul maxim admisibil), R_v rezistența interioară a voltmetrului și R_{ad}, valoarea rezistenței adiționale (fig. 11—12). Aplicînd legile

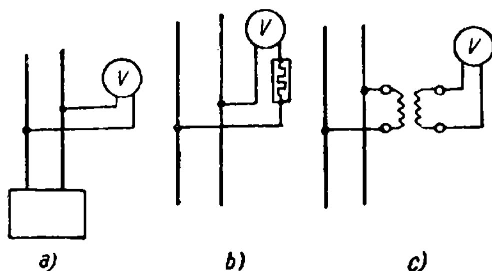


Fig. 11-11. Legarea în circuit a voltmetrului: *a* — direct; *b* — cu rezistență adițională; *c* — cu transformator de tensiune.

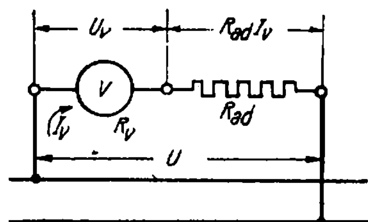


Fig. 11-12. Voltmetru cu rezistență adițională.

lui Kirchhoff și ținînd seama că la noua tensiune curentul prin voltmetru trebuie să rămînă tot la valoarea I_v, se pot scrie ecuațiile:

$$U = U_v + R_{ad} I_v ,$$

$$U_v = R_v I_v ,$$

$$n = \frac{U}{U_v} .$$

Din acest sistem de ecuații rezultă:

$$R_{ad} = R_v \left(\frac{U}{U_v} - 1 \right) = R_v (n - 1). \qquad (11.5)$$

Aplicație. Un voltmetru cu limita de măsurare 150 V are o rezistență interioară $R_v = 4\,640\ \Omega$. Să se calculeze valoarea rezistenței adiționale care trebuie legată în serie cu aparatul pentru ca limita de măsurare să devină 600 V.

R e z o l v a r e. Conform relației (11-5):

$$R_{ad} = 4\,640 \left(\frac{600}{150} - 1 \right) = 13\,920\ \Omega.$$

Rezistența adițională trebuie să fie astfel dimensionată, încît să suporte curentul:

$$I_v = \frac{U_v}{R_v} = \frac{150}{4\,640} = 0{,}0323\ \text{A},$$

adică să poată consuma puterea:

$$P = R_{ad} \cdot I_v^2 = 13\,920 \cdot 0{,}0323^2 = 14{,}5\ \text{W}.$$

În noul montaj, indicațiile voltmetrului de 150 V vor trebui înmulțite cu:

$$n = \frac{U}{U_v} = \frac{600}{150} = 4.$$

6. Măsurarea rezistențelor

Măsurarea rezistențelor se efectuează în curent continuu, în următoarele trei moduri:

— cu ampermetrul și voltmetrul;

— cu aparate speciale numite ohmmetre, megohmmetre;

— cu puntea Wheatstone.

Măsurarea rezistențelor cu ampermetrul și voltmetrul se bazează pe legea lui Ohm. Se pot realiza două montaje: montajul amonte (fig. 11—13, *a*) și montajul aval (fig. 11—13, *b*).

Notînd cu I_A și U_v indicațiile ampermetrului și respectiv ale voltmetrului, valoarea rezistenței măsurate R_x este dată de relația

$$R_x = \frac{U_v}{I_A}. \tag{11.6}$$

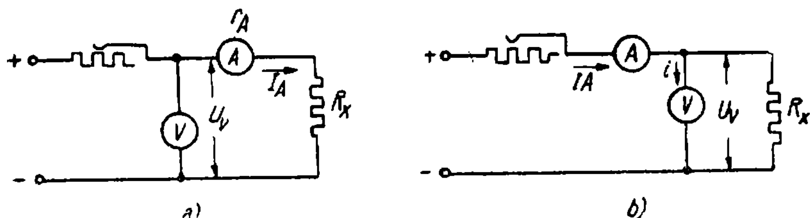


Fig. 11–13. Schema de montaj pentru măsurarea rezistențelor prin metoda ampermetrului și voltmetrului:
a — montaj amonte; *b* — montaj aval.

Această valoare este însă afectată de eroare datorită curentului i care trece prin voltmetru la montajul aval și datorită căderii de tensiune $r_A I_A$ în ampermetru la montajul amonte. Pentru ca eroarea să fie cît mai mică, trebuie *ca montajul amonte să*

fie folosit cînd rezistența de măsurat este mică în raport cu rezistența interioară a voltmetrului de care dispunem, iar montajul aval să fie folosit atunci cînd rezistența de măsurat este mare în raport cu rezistența interioară a ampermetrului de care dispunem.

Dacă se cunoaşte rezistența interioară R_v a voltmetrului sau rezistența interioară r_A a ampermetrului, se poate elimina eroarea calculînd valoarea exactă R_x a rezistenței, cu relațiile:

$$\left.\begin{aligned} &\text{— pentru montajul amonte } R_x = \frac{U_v}{I_A} - r_A \\ &\text{— pentru montajul aval } R_x = \frac{U_v}{I_A - \dfrac{U_v}{R_v}} \end{aligned}\right\} \qquad (11.7)$$

Dacă măsurările de mai sus se fac în curent alternativ, în locul rezistenței se obține valoarea impedanței.

Măsurarea rezistențelor cu ohmmetrul. Schema de principiu a unui ohmmetru este reprezentată în figura 11—14.

El conține următoarele elemente esențiale:

— o sursă de energie electrică E, care poate fi o baterie de 1,8—4,5 V (ohmmetru cu baterie fig. 11—15, *a*) sau un magnetou rotit cu manivelă, care produce o tensiune de 250 V, 500 V sau 1 000 V (ohmmetru cu magnetou sau cu inductor fig. 11—15, *b*);

— un miliampermetru Ω gradat direct în ohmi;

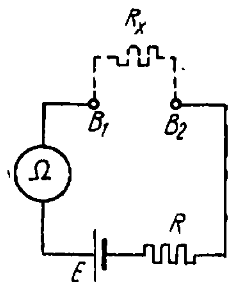


Fig.11–14. Ohmmetru — schemă de principiu.

— o rezistență de protecție R;

— bornele B_1 şi B_2 la care se leagă rezistența R_x de măsurat.

Cu ohmmetrele se măsoară în general rezistențele mari, cum sînt rezistențele de izolație ale utilajelor şi instalațiilor electrice.

Măsurarea rezistențelor cu puntea Wheatstone. Schema punții este reprezentată în figura 11—16, *a*.

Pentru un raport al rezistențelor $\frac{a}{b}$, care poate fi făcut 0,01; 0,1; 1; 10; 100 sau 1 000, se variază rezistența reglabilă R pînă cînd curentul care trece prin galvanometrul G este zero. În această situație, aplicînd legile lui Kirchhoff, se demonstrează că între rezistențele punții există relația:

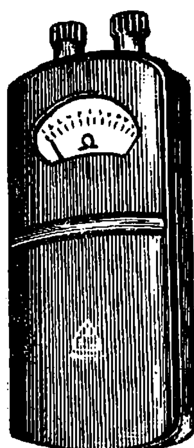
$$\frac{a}{b} = \frac{R}{R_x}$$

de unde se deduce valoarea rezistenței de măsurat:

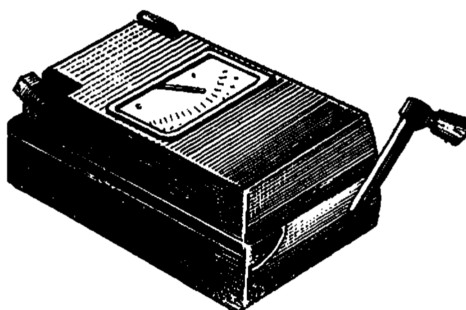
$$R_x = \frac{b}{a} R \tag{11.8}$$

Cu ajutorul punții industriale reprezentată în figura 11—16, *b* se pot măsura rezistențe cuprinse între 0,05 Ω și 50 000 Ω.

În practica industrială se folosesc și punți special construite pentru măsurarea rezistențelor de izolație și punți pentru măsurarea rezistențelor prizelor de punere la pămînt.

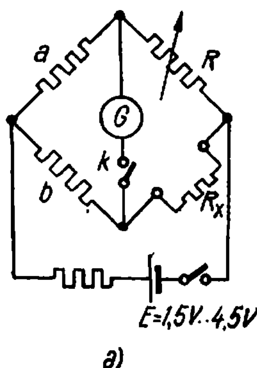


a)

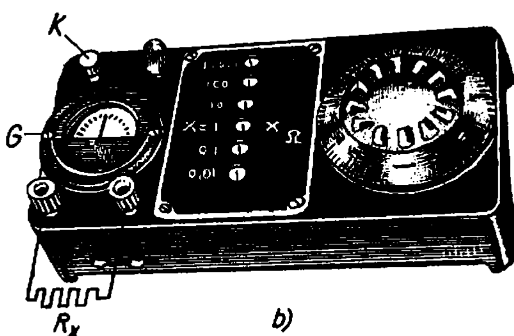


b)

Fig. 11–15. Ohmmetre:
a — cu baterie; *b* — cu inductor.



a)



b)

Fig. 11–16. Puntea Wheatstone:
a — schema punții; *b* — punte industrială.

7. Măsurarea puterii

În curent continuu, măsurarea puterii se efectuează cu ajutorul ampermetrului şi voltmetrului montate ca în figura 11—13. Puterea absorbită de receptorul R_x este:

$$P = U_v I_A.$$

Puterea P se obţine în waţi, dacă U_v se ia în volţi şi I_A în amperi.

Ca şi în cazul măsurării rezistenţelor, puterea astfel determinată este eronată din cauza consumului propriu al aparatelor. Cunoscînd rezistenţele interioare ale aparatelor, se poate calula puterea absorbită efectiv de receptor, folosind relaţiile:

$$\left.\begin{aligned} &\text{— pentru montajul amonte: } P' = U_v I_A - r_A I_A^2; \\ &\text{— pentru montajul aval: } P' = U_v I_A - \frac{U_v^2}{R_v}. \end{aligned}\right\} \qquad (11.9)$$

Măsurarea puterii în curent continuu se mai poate efectua cu ajutorul wattmetrului electrodinamic (fig. 11—17, a). Bobina fixă a aparatului (bobina de curent) se leagă în serie pe circuit, ca un ampermetru. Bobina mobilă (bobina de tensiune) se leagă în paralel cu receptorul, ca un voltmetru; ea va fi străbătută de un curent proporţional cu tensiunea. Conform relaţiei (4.7), cuplul care se naşte şi acţionează asupra bobinei mobile, şi deci, indicaţia aparatului sînt proporţionale cu produsul dintre cei

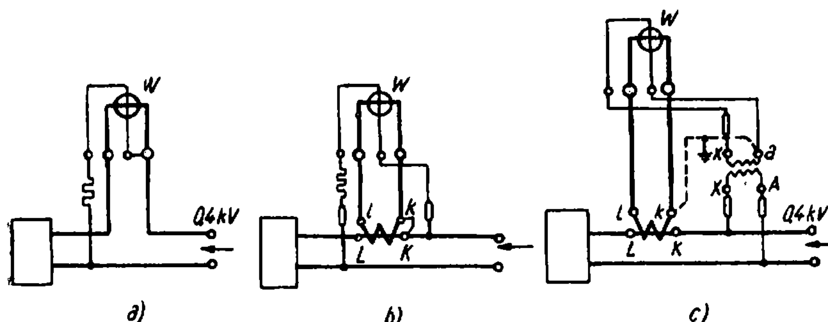


Fig. 11-17. Măsurarea puterii cu wattmetrul într-un circuit de curent alternativ monofazat:
a — montaj direct; *b* — montaj semidirect; *c* — montaj indirect.

doi curenți, adică cu produsul $P = UI$, care reprezintă puterea ce trece prin circuit. În curent continuu, wattmetrul se utilizează însă mai rar.

Măsurarea puterii active în curent alternativ monofazat se efectuează cu ajutorul wattmetrului electrodinamic (fig. 11-17, *a*, *b* și *c*), ale cărui deviații sînt proporționale cu produsul

$$P = UI \cos \varphi .$$

În consecință, wattmetrul măsoară puterea activă absorbită de receptor.

Folosirea ampermetrului și voltmetrului, în curent alternativ, ca în figura 11—13, duce la determinarea puterii aparente.

În curent alternativ trifazat, puterea activă se măsoară tot cu ajutorul wattmetrelor după cum urmează:

— pe un circuit trifazat cu sarcini echilibrate (sistem simetric) se folosește un wattmetru monofazat, montat ca în figura 11—18; indicațiile wattmetrului se înmulțesc cu trei, sau se gradează scara sa astfel, încît să indice direct puterea în curent trifazat;

— pe un circuit trifazat fără fir neutru cu sarcini dezechilibrate se folosesc fie două wattmetre (metodă denumită a celor „două wattmetre“ fig. 11—19, *a* și *b*), fie un singur wattmetru cu două dispozitive de măsurat (fig. 11—20).

În cazul folosirii a două wattmetre, puterea este dată de suma indicațiilor celor două wattmetre:

— pe un circuit trifazat cu fir neutru, cu sarcini dezechilibrate, se folosesc trei wattmetre sau un wattmetru cu trei dispozitive de măsurat (fig. 11—21).

Măsurarea puterii reactive se face cu ajutorul aparatelor speciale, numite varmetre sau cu ajutorul wattmetrelor obișnuite montate după scheme speciale. Figura 11—22 reprezintă folosirea a două wattmetre pentru măsurarea puterii reactive într-un circuit fără fir neutru. Puterea reactivă Q este dată de suma $P_1 + P_2$ a indicațiilor celor două wattmetre înmulțită cu $\sqrt{3}$.

$$Q = \sqrt{3}(P_1 + P_2).$$

Observație importantă. La folosirea wattmetrelor trebuie respectate cu strictețe următoarele indicații: a) începuturile bobinei de curent și de tensiune (marcate cu o steluță sau cu o săgeată) trebuie legate spre partea de unde vine energia; b) trebuie respectată marcarea bornelor transformatoarelor de măsurat conform schemelor de montaj. Dacă nu se respectă aceste norme, wattmetrul bate pe dos sau indică eronat.

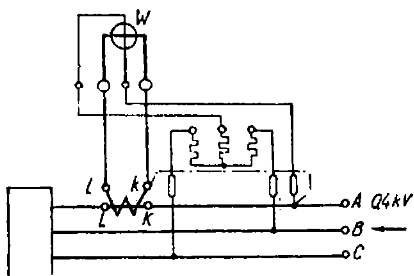
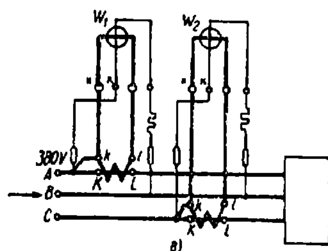


Fig. 11–18. Măsurarea puterii în curent alternativ trifazat cu sarcini echilibrate.



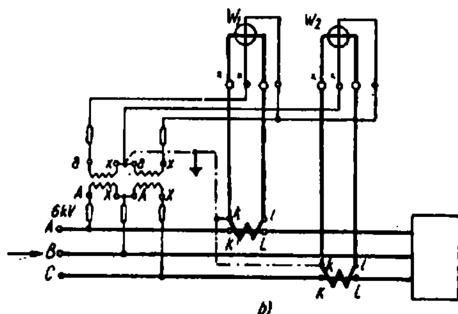


Fig. 11–19. Măsurarea puterii cu ajutorul a două wattmetre — circuit trifazat fără fir neutru cu sarcini dezechilibrate:
a — montaj semidirect; *b* — montaj indirect.

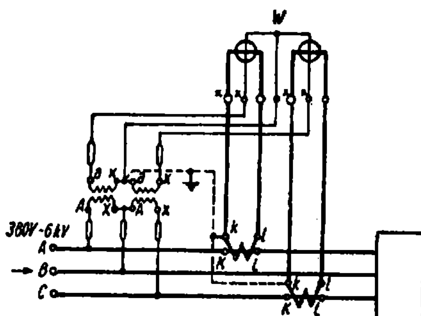


Fig. 11–20. Măsurarea puterii cu ajutorul unui wattmetru trifazat cu două dispozitive de măsurat — rețea fără fir neutru cu sarcini dezechilibrate.

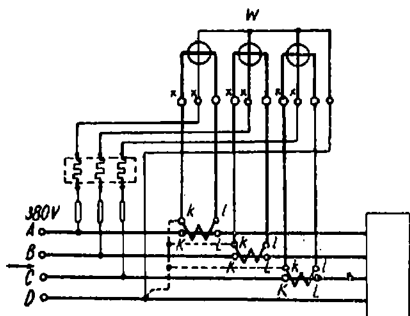


Fig. 11–21. Măsurarea puterii într-un circuit trifazat cu fir neutru, avînd sarcini dezechilibrate.

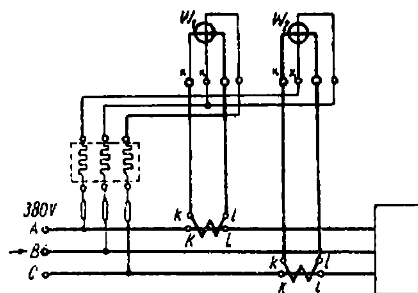


Fig. 11–22. Măsurarea puterii reactive într-un circuit trifazat fără fir neutru, cu ajutorul a două wattmetre.

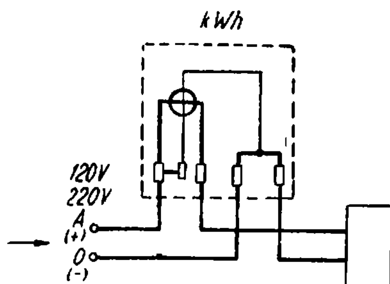
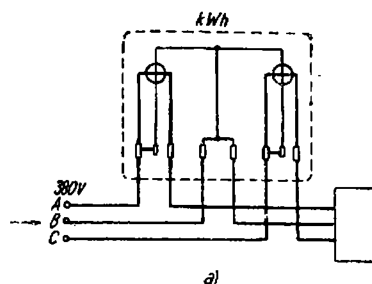


Fig. 11-23. Conectarea unui contor (de energie activă) pentru curent continuu sau pentru curent alternativ monofazat.



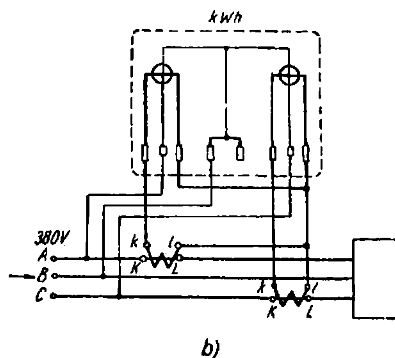
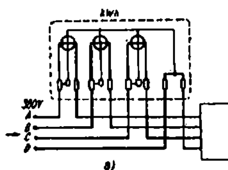


Fig. 11-24. Conectarea unui contor trifazat de energie activă cu două dispozitive de măsurat — circuit trifazat fără fir neutru:

a — montaj direct; *b* — montaj semidirect.



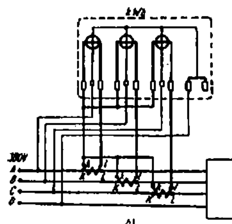


Fig. 11-25. Conectarea unui contor trifazat de energie activă cu trei dispozitive de măsurat — circuit trifazat cu fir neutru;

a — montaj direct;
b — montaj semidirect.

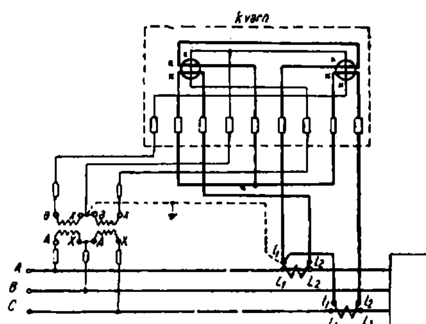


Fig. 11-26. Conectarea unui contor de energie reactivă — montaj indirect.

De asemenea, nu trebuie să se depăşească curentul maxim admisibil al bobinei de curent (marcat pe cadranul aparatului) şi tensiunea bobinei mobile (marcată de asemenea pe cadran). Aceste valori ar putea fi uneori depăşite fără ca indicaţia aparatului să depăşească limita de măsurare. Cînd sînt posibile asemenea cazuri, este necesar să se monteze în circuit un ampermetru şi un voltmetru de control.

8. Măsurarea energiei electrice

Măsurarea energiei electrice active se efectuează cu ajutorul contoarelor. Un contor conţine unul sau mai multe dispozitive wattmetrice de măsurat, care pun în mişcare de rotaţie un rotor. Viteza de rotaţie a rotorului este proporţională cu puterea care trece prin circuit, iar numărul total de rotaţii este proporţional cu energia electrică corespunzătoare. Numărul de rotaţii ale rotorului sînt totalizate de un mecanism cu roţi dinţate, care indică direct energia în kilowatore.

In curent continuu se utilizează contoare electrodinamice, la care rotorul este format chiar din bobina de tensiune a dispozitivului wattmetric.

În curent alternativ se utilizează contoare de inducţie, la care rotorul este format dintr-un disc de aluminiu pus în mişcare prin acţiunea cîmpurilor alternative produse de bobinajul de curent şi de cel de tensiune.

Contoarele se montează în mod asemănător cu wattmetrele, aşa cum rezultă din figurile 11—23, 11—24, 11—25.

Măsurarea energiei reactive se efectuează cu ajutorul contoarelor de energie reactivă, de construcţie specială (fig. 11—26).

9. Măsurarea factorului de putere (cos φ)

Factorul de putere se poate măsura direct cu ajutorul aparatelor numite cosfimetre sau fazmetre (fig. 11—27).

Factorul de putere se mai poate determina citind simultan tensiunea U cu un voltmetru, curentul I cu un ampermetru şi puterea activă P cu un wattmetru. Expresia factorului de putere este:

— în curent monofazat $\cos\varphi = \frac{P}{UI}$

— în curent trifazat $\cos\varphi = \frac{P}{\sqrt{3}\,UI}$ (11.10)

În curent trifazat, metoda este aplicabilă dacă sarcina este echilibrată. Tot în acest caz, dacă se măsoară puterea prin *metoda celor două wattmetre*, se obţine uşor tangenta unghiului

$$\operatorname{tg}\varphi = \sqrt{3}\,\frac{P_2 - P_1}{P_2 + P_1}, \tag{11.11}$$

din care se calculează apoi cos φ.

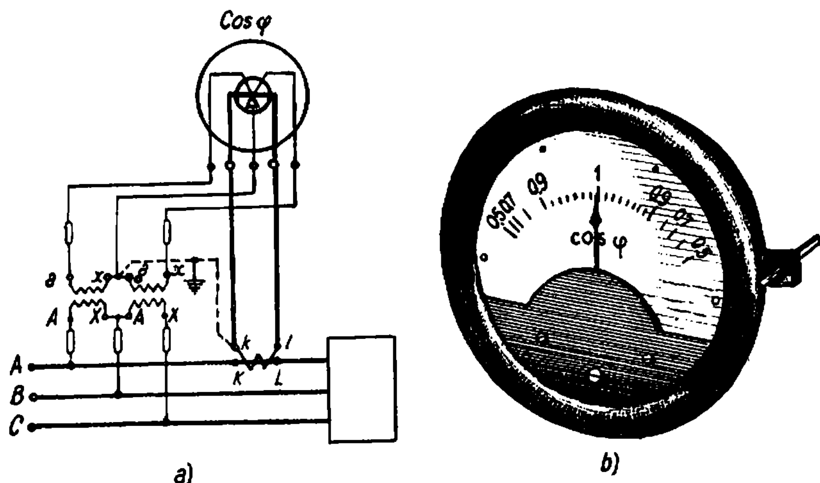


Fig. 11-27. Cosfimetru de tablou:
a — schemă de conexiuni; b — vederea aparatului.

10. Măsurarea frecvenţei

Măsurarea frecvenţei se efectuează cu aparatele numite frecvenţmetre. Frecvenţmetrele se pot construi ca aparate cu ac indicator sau, cum sînt întîlnite în mod curent, ca aparate de vibraţie

(fig. 11–7). În figura 11–28 este reprezentată schema de conexiune și aspectul exterior al unui frecvențmetru de tablou.

Frecvențmetrul se leagă în circuit ca un voltmetru.

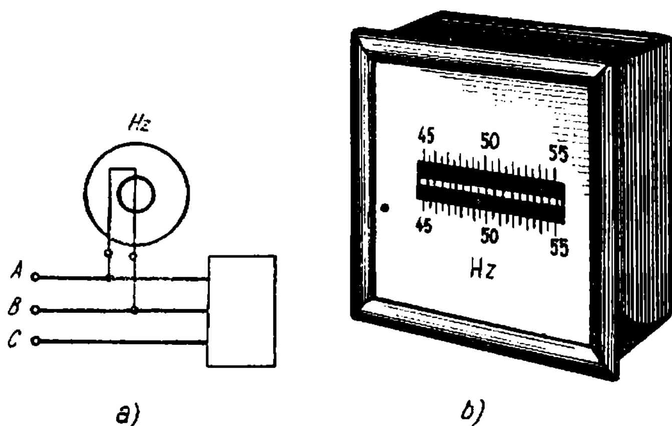


Fig. 11–28. Frecvențmetru de vibrație de tablou cu scară simplă; *a* — schemă de conexiuni; *b* — vederea aparatului.

11. Reguli practice pentru folosirea aparatelor de măsurat

1. Conectarea aparatelor de măsurat nu se face niciodată sub tensiune.

2. Montajul se execută numai după o schemă clară de conexiuni, pe care sînt marcate bornele aparatelor, cu notațiile existente pe aparate. De multe ori, schema de conectare a aparatului se găsește imprimată chiar pe aparat (pe cadran, pe capac, pe carcasă). Se identifică aparatele de pe schemă cu cele disponibile și după marcările de pe cadranul aparatelor se verifică dacă ele corespund scopului propus.

3. Înainte de a pune montajul de măsurare sub tensiune, se verifică conexiunile conform schemei și se observă ca legăturile la borne să nu fie slăbite sau desfăcute. Cu ajutorul corectorului se așază acele indicatoare pe reperul zero.

4. Aparatele se aleg, de preferință, astfel, încît indicațiile să fie cuprinse în ultima treime a scării gradate. Indicațiile apa-

ratelor se citesc privind aparatul drept în faţă. Pentru a permite o citire precisă, unele aparate (cele transportabile) sînt prevăzute cu o scară cu oglindă. Citirea indicaţiei acestora se efectuează în poziţia în care acul acoperă imaginea sa din oglindă.

5. Cînd aparatele sînt montate prin transformatoare de măsurat, indicaţiile aparatelor se interpretează ţinîndu-se seamă de raportul de transformare al transformatoarelor de măsurat (aceasta numai în cazul cînd la înscrierea diviziunilor pe scara aparatului nu s-a ţinut seamă de raportul de transformare al transformatoarelor).

12. Măsurarea electrică a mărimilor neelectrice

Problema măsurărilor are o deosebită importanţă nu numai în electrotehnică, dar şi în alte domenii. Astfel, este de neconceput exploatarea în bune condiţii a unei staţii de compresoare fără a măsura presiunea şi temperatura în diferite puncte ale instalaţiei, viteza de rotaţie a maşinilor etc. Mai mult, astăzi, prin automatizarea proceselor de producţie, se impune un control permanent şi precis al diferiţilor parametri (viteze, presiuni, temperaturi, debite, nivele etc.). Adesea rezultatele măsurărilor trebuie transmise la distanţă şi centralizate în anumite puncte de control. Toate acestea se pot realiza în condiţii tehnico-economice corespunzătoare numai pe calea măsurării electrice şi a acestor mărimi neelectrice. Instalaţia de măsurat trebuie să cuprindă:

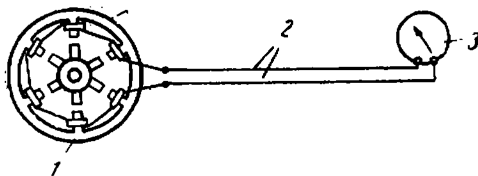


Fig. 11–29. Măsurarea pe cale electrică a turaţiei: 1 — traductor; 2 — instalaţie de legătură (schemă); 3 — receptor.

1. Un aparat care să transforme mărimea neelectrică într-o mărime electrică, denumit traductor sau emiţător.

2. O instalaţie electrică destinată a lega traductorul de aparatul electric de măsurat propriu-zis, care de multe ori se reduce la simple conductoare de legătură.

3. Aparatul electric de măsurat propriu-zis (receptor), a cărui scară este gradată direct în unităţi ale mărimii neelectrice măsurate.

4. Uneori toată instalaţia necesită şi o sursă auxiliară de energie electrică.

În figura 11—29 se arată, pentru exemplificare, măsurarea pe cale electrică a turaţiei unei maşini. Pentru aceasta, la axul maşinii se cuplează traductorul *1*, format dintr-un mic generator electric de curent continuu sau alternativ, al cărui rotor se roteşte solidar cu axul maşinii. Acest generator, denumit şi generator tahometric sau tahogenerator, produce o tensiune electrică proporţională cu turaţia maşinii. Receptorul 3 (un voltmetru) măsoară tensiunea produsă de generatorul tahometric; pe scara acestui voltmetru se poate citi direct turaţia maşinii.

Capitolul XII

Aparataj electric

1. Generalităţi. Clasificare, definiţii

Pentru a putea asigura buna funcţionare a unei instalaţii electrice, este necesar ca, pe lîngă aparatele de măsurat, instalaţia să fie înzestrată şi cu o serie de alte aparate, cum sînt întreruptoarele, reostatele, siguranţele fuzibile etc., cu ajutorul cărora se pot face în instalaţii diferite manevre şi se protejează instalaţia împotriva diferitelor deranjamente.

Ţinînd seama de scopul lor în funcţionare, aparatele din această ultimă categorie, care vor forma obiectul acestui capitol, pot fi clasificate în: aparate de conectare, aparate de protecţie, aparate de reglaj şi aparate pentru limitarea curenţilor de scurtcircuit.

Aparatele de conectare servesc la închiderea şi deschiderea diferitelor circuite sau, cum se mai spune, la conectarea, respectiv deconectarea circuitelor şi instalaţiilor electrice, cu scopul de a le pune sau scoate de sub tensiune, de a porni şi opri motoarele sau a le inversa sensul de rotaţie etc. Aparatele de conectare sînt: întreruptoarele, separatoarele, contactoarele, ruptoarele, comutatoarele, controlerele, prizele de curent cu fişe şi conectoarele.

Aparatele de protecţie servesc la sesizarea unei situaţii anormale în funcţionarea unei instalaţii, de exemplu: apariţia unei suprasarcini[1], un scurtcircuit, o scădere neadmisă a tensiunii, o încălzire exagerată a vreunei piese etc. Ca urmare a acestor sesizări, aparatele de protecţie fie că dau o comandă pentru deconectarea automată a instalaţiei, dacă situaţia anormală este imediat periculoasă (cum ar fi în cazul unui scurtcircuit), fie că semnalizează apariţia situaţiei anormale atunci cînd situaţia respectivă nu prezintă un pericol imediat (cum ar fi depăşirea temperaturii normale de funcţionare a unei părţi din instalaţie).

[1] Prin suprasarcină se înţelege o creştere a curentului printr-o instalaţie, peste curentul nominal al acestei instalaţii (vezi cap. XXI § 1).

Aparate de protecție sînt: siguranțele fuzibile, releele, descărcătoarele, paratrăsnetele.

Aparatele de reglaj cuprind reostatele. Reostatul este un aparat care conține o rezistență reglabilă. Reostatele sînt folosite la pornirea și reglajul vitezei motoarelor, la reglajul tensiunii generatoarelor sau la reglajul altor parametri electrici ai unei instalații.

Aparatele pentru limitarea curenților de scurtcircuit. În această grupă de aparate intră *reactorul.* Reactorul este un aparat care se montează pe un circuit pentru a-i mări în mod artificial impedanța, în scopul de a reduce astfel valoarea curenților de scurtcircuit, care — de cele mai multe ori — apar din cauza unor defecte de izolație.

După cum se vede, aparatajul electric are o importanță deosebită în cadrul unei instalații industriale, deoarece, cu ajutorul lui, instalația poate fi comandată, reglată în funcționare normală și protejată la apariția unei situații anormale de funcționare.

Astăzi, prin întreprinderile de bază Electroaparataj—București și Electroputere—Craiova, construite în anii de democrație populară, se asigură construirea aparatajului de utilizare curentă atît pentru necesitățile interne cît și pentru cele de export.

Aparatele electrice mai pot fi clasificate și după alte criterii, și anume:

— după tensiune, aparatele sînt: de joasă tensiune (pînă la 1 000 V exclusiv) și de înaltă tensiune (peste 1 000 V inclusiv);

— după numărul de faze parcurse de curentul principal: monofazate, bifazate, trifazate etc. La unele aparate, ca, de exemplu, la aparatele de conectare, fazele sînt denumite și poli; din acest motiv, se folosesc uneori denumirile de aparate monopolare, bipolare și tripolare;

— după felul curentului: de curent continuu sau de curent alternativ.

Aparatele de conectare și cele de reglaj mai pot fi clasificate și după modul de comandă (de acționare), și anume:

— aparate cu comandă manuală sau aparate neautomate, la care energia necesară acționării aparatului este dată de mușchii omului în momentul comandării (acționării) lui;

— aparate cu comandă automată, la care acționarea aparatului se face prin apăsarea unor butoane, manevrarea unor manete, intervenția unor relee sau a altor elemente de comandă cu ajutorul energiei date de o sursă de energie (electrică, mecanică, pneumatică). Conform acestei definiții, prin întreruptor automat se înțelege un întreruptor care poate fi închis și deschis prin apăsare pe butoane sau prin comanda unor relee. În vorbirea curentă, prin întreruptor automat se înțelege și întreruptorul care se poate numai deschide automat sub comanda unor relee pe care el le conține, închiderea lui făcîndu-se manual.

După modul de construcție (execuție), aparatele de comutare și reglaj se clasifică după cum urmează:

Aparate *în execuție neprotejată.* Aceste aparate nu au nici un fel de protecție, părțile conducătoare de curent sînt vizibile și pot fi atinse. Ele pot fi folosite în general numai în condiții speciale; se montează în spații îngrădite,

unde are acces numai personalul special instruit, în camere care împiedică pătrunderea apelor de ploaie, a prafului, cînd nu există pericolul pătrunderii amestecului de gaze explozibile.

Aparate *în execuție închisă*. Aceste aparate au o carcasă care împiedică atingerea părților conductoare de curent, dar nu împiedică pătrunderea apei, a prafului, a amestecului de gaze explozibile. Spre deosebire de aparatele în execuție neprotejată, la joasă tensiune, ele se pot monta și în spații neîngrădite.

Aparate *în execuție capsulată*. Carcasa acestor aparate împiedică pătrunderea apei de ploaie și a prafului. Ele pot fi folosite în aer liber sau în încăperi cu praf, nu pot fi însă folosite în locuri cu pericol de explozie.

Aparate *în execuție antideflagrantă*. Aceste aparate sînt construite pentru a putea fi folosite în medii care conțin amestecuri de gaze explozibile, cum sînt atmosfera minelor grizutoase, unele secții ale întreprinderilor textile, petrolifere etc. La o eventuală explozie produsă în interiorul carcaselor, din cauza apariției unui arc electric (produs la deschiderea contactelor), carcasa lor trebuie să reziste la suprapresiunea interioară care ia naștere și — în plus — să nu transmită explozia în mediul înconjurător din exterior. Pentru aceasta, carcasa lor nu este închisă etanș, însă este astfel construită, încît gazele care năvălesc din interior spre exterior sînt răcite sub temperatura de aprindere a amestecului explozibil [1].

2. Contacte electrice

Înainte de a descrie construcția și funcționarea aparatajului electric, vor fi arătate cîteva noțiuni de bază în legătură cu contactele electrice.

Legătura electrică de *contact* sau, pe scurt, *contact electric* este partea componentă dintr-un aparat (întreruptor, releu, reostat etc.) prin care se face legătura electrică între două conductoare, cu scopul de a asigura trecerea curentului de la unul la celălalt. De multe ori prin contact se înțelege numai locul de atingere dintre cele două conductoare sau chiar fiecare din cele două conductoare în parte.

Contactele pot fi *contacte fixe* (care nu se deschid în timpul funcționării aparatului) și *contacte mobile*, care se deschid.

Contactele care nu se deschid în funcționare se realizează cu ajutorul șuruburilor, clemelor, bornelor, fie prin nituire, lipire sau sudare; în acest caz, cele două piese care vin în contact păstrează o poziție fixă una față de cealaltă. În alte cazuri, cele două

---

[1] În ultima vreme, în mediile cu pericol de explozie, în special la instalațiile telefonice, se folosesc aparate denumite cu *siguranță intrinsecă*. Acestea nu au o carcasă antideflagrantă, dar sînt astfel construite încît puterea scînteilor electrice care pot apare este insuficientă pentru a putea aprinde amestecul exploziv.

piese care vin în contact fără a se desface în funcţionare, pot luneca sau se pot rostogoli una faţă de alta, permiţînd astfel deplasarea uneia faţă de cealaltă; acesta este cazul contactelor prin rolă, prin perii, prin troleu etc., care se întîlnesc în practică la alimentarea podurilor rulante, la troleibuze, la tramvaie, la maşinile electrice etc.

Contactele care se deschid în funcţionare au drept scop să asigure închiderea şi deschiderea unor circuite. Dacă circuitul respectiv este străbătut de curent, deschiderea contactelor este însoţită de regulă de apariţia unui arc electric între contactele care întrerup circuitul. Arcul electric are o temperatură foarte ridicată (3—4 mii de grade) şi impune condiţii speciale acestor contacte. De multe ori (la tensiuni şi curenţi mari), pentru a putea stinge arcul electric, contactele trebuie prevăzute cu dispozitive speciale care să uşureze stingerea arcului.

O suprafaţă, oricît de bine ar fi prelucrată, are o serie de neregularităţi (proeminenţe şi adîncituri care se văd la microscop). Punînd în contact două piese, ele nu se ating decît prin vîrfurile diferitelor proeminenţe (fig. 12-1). Dacă un curent electric trece printr-un asemenea contact, curentul trece de fapt numai prin vîrfurile proeminenţelor în contact. Aceste vîrfuri în contact au o suprafaţă mică, de aceea — la orice contact — apare o rezistenţă electrică suplimentară, denumită „rezistenţă de trecere a contactului". Dacă cele două piese care vin în contact se apasă una asupra celeilalte, proeminenţele se turtesc, mărind secţiunea prin care trece curentul. De aceea, cu cît forţa de apăsare a contactelor este mai mare, cu atît rezistenţa de trecere este mai mică. Oxidarea suprafeţelor de contact provoacă şi ea mărirea rezistenţei de trecere. De aceea, argintarea, cositorirea sau zincarea contactelor sînt operaţii care îmbunătăţesc funcţionarea contactelor. Din acest punct de vedere, este de remarcat faptul că stratul de oxid care se formează la suprafaţa cuprului se rupe uşor la apăsarea contactelor. În schimb, la aluminiu se formează o peliculă de oxid foarte rezistentă. Acest lucru explică de ce aluminiul nu se întîlneşte la contacte mobile. Trecerea curentului prin rezistenţa de trecere a contactului provoacă, prin efectul termic al curentului, încălzirea locului de contact. Curentul maxim admis printr-un contact nu trebuie să încălzească contactul la mai mult de 70—80°C. Dacă se depăşeşte curentul maxim admis de contact, sau nu se controlează ca forţa de apăsare a contactelor (dată de nişte resoarte) să fie la valoarea prescrisă, contactul se încălzeşte peste limitele admise; în felul acesta se poate ajunge pînă la topirea şi sudarea contactelor, ceea ce reprezintă

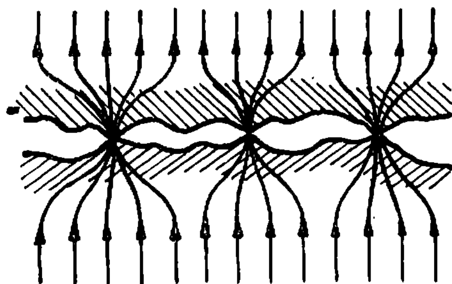


Fig. 12-1. Trecerea curentului prin contactul dintre două piese metalice.

un pericol foarte grav în cazul aparatelor de conectare; de exemplu dacă — în caz de suprasarcină — un întreruptor montat pe circuitul unui motor nu se deschide la comanda releelor de protecție din cauză că i s-au sudat contactele, motorul respectiv va fi distrus (ars).

3. Aparate de protecție. Relee

Aparatele de protecție care vor fi descrise în cele ce urmează sînt: siguranțele fuzibile și releele de protecție; pe lîngă aceasta vor fi arătate și o serie de relee electrice și neelectrice folosite la instalațiile de automatizare[1].

a. Siguranțe fuzibile

Siguranța fuzibilă este un aparat care, fiind montat în serie pe un circuit, întrerupe circuitul prin topirea unui fir sau lamele, denumit fir sau lamelă fuzibilă, atunci cînd curentul din circuit depășește o anumită valoare, pentru care a fost construit fuzibilul.

Pentru ca fuzibilul să se topească (să se ardă), este necesar ca el să fie străbătut de un curent mai mare sau cel puțin egal cu *curentul minim de topire* ($I_{\text{min. top.}}$) la care, teoretic, fuzibilul se topește după un timp infinit. Cu cît curentul care trece prin fuzibil este mai mare decît curentul minim de topire, cu atît durata de topire a fuzibilului este mai mică. Curba duratei de topire (t_t), în funcție de curentul (I_f) care trecînd prin fuzibil provoacă topirea lui, se numește *caracteristica de protecție a fuzibilului* și are forma reprezentată în figura 12–2.

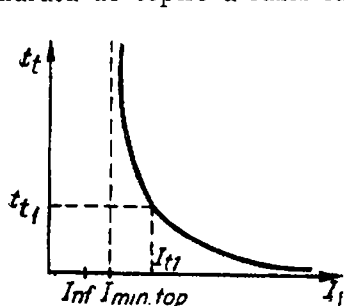


Fig. 12–2. Caracteristica de protecție a unei siguranțe fuzibile.

În funcționare normală, fuzibilul nu trebuie să se topească și nici să-și schimbe caracteristica de protecție, prin oxidarea care s-ar putea produce ușor, în urma unei încălziri exagerate a lui. Cel mai mare curent care poate trece prin fuzibil timp nelimitat, fără ca acesta să se topească sau să-și schimbe caracteristica, se numește *curent nominal al fuzibilului* și se notează cu I_{nf}.

[1] Releul de gaze, paratrăsnetul și descărcătoarele vor fi descrise în capitolul de protecție a instalațiilor electrice (Cap. XXI).

Acest curent este cu 20—30% mai mic decît curentul minim de topire (fig. 12—2). Pentru curenți de 8—10 I_{nf}, fuzibilul se topește practic instantaneu. Avînd în vedere faptul că o siguranță fuzibilă se topește numai la curenți mai mari cu 20—30% decît curentul ei nominal I_{nf}, trebuie dată o atenție cu totul deosebită alegerii corecte a fuzibilelor. Alegerea unui fuzibil cu un curent nominal mai mare decît cel reieșit din calcule sau recomandat în tabelă face ca el să nu se topească la suprasarcini mici sau să se topească cu întîrziere la scurt-circuite.

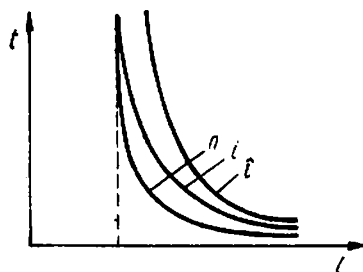


Fig. 12-3. Caracteristicile de protecție ale diferitelor tipuri de siguranțe fuzibile, avînd același curent nominal:
n — siguranțe normale; *i* — siguranțe cu inerție; *î* — siguranțe cu întîrziere.

Fuzibilul unei siguranțe poate fi montat în aer liber sau închis într-o piesă de forma unui tub denumit *patron*, pe care este marcat curentul nominal al fuzibilului. Pentru a ușura stingerea arcului care apare în urma topirii fuzibilului, patronul conține uneori nisip, talc sau alte substanțe așezate în jurul fuzibilului. La unele patroane, topirea fuzibilului este semnalizată cu ajutorul unui dispozitiv. În cazul siguranțelor cu filet (vezi mai jos), în capul patroanelor se găsește un mic disc colorat care cade la topirea fuzibilului.

Caracteristica de protecție a siguranțelor poate fi de următoarele trei tipuri (fig. 12-3):

— *Siguranțe normale sau rapide* (curba *n*); la aceste siguranțe, timpul de topire este mai mic decît la alte tipuri.

— *Siguranțe cu inerție* (curba *i*); la aceste fuzibile, la același curent, durata de topire este mai mare decît la o siguranță normală corespunzătoare (cu același curent nominal).

— *Siguranțe cu întîrziere* (curba *î*); la aceste fuzibile, durata de topire este mărită chiar în comparație cu aceea a fuzibilelor cu inerție și — în același timp — au o valoare mai mare a curentului minim de topire în raport cu curentul nominal al fuzibilului.

Pentru exemplificare, se arată în tabela 12-1 (după STAS 4173-53) condițiile de topire impuse siguranțelor cu mîner (vezi mai jos).

Tabela 12-1

Condițiile de topire pentru siguranțele unipolare cu mîner

Condițiile de topire	Tipul siguranței		
	normală (rapidă)	cu inerție	cu întîrziere
Nu se topește într-o oră la sarcina de...	1,3 I_{nf}	1,6 I_{nf}	3 I_{nf}
Se topește în mai puțin de o oră la sarcina de	1,6 I_{nf}	1,9 I_{nf}	3,5 I_{nf}

Din punct de vedere constructiv, siguranţele pot fi: siguranţe cu filet, siguranţe cu mîner şi siguranţe tubulare.

— *Siguranţele cu filet* (fig. 12—4) au fuzibilul închis într-un patron care se montează în soclul siguranţei prin înşurubarea unui capac filetat, în care se introduce patronul. Siguranţele cu filet, standardizate prin STAS 452-53, 456-53 şi 497-53, sînt folosite numai pînă la 500 V şi 200 A. Aceste siguranţe pot fi:

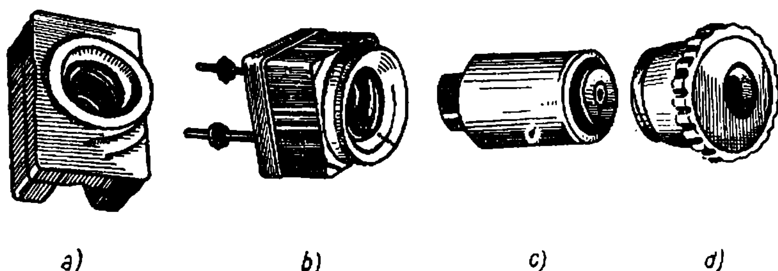


Fig. 12–4 Siguranţe cu filet:
a — soclu pentru legături în faţa tabloului; *b*—soclu pentru legături în spatele tabloului; *c*—patron cu fuzibil; *d*—capac.

Siguranţe LS (cu legături în spate); la aceste siguranţe, legăturile cu conductoarele circuitului se fac în spatele tabloului pe care se montează siguranţele.

Siguranţe LF (cu legături în faţă); la aceste siguranţe, legăturile cu conductoarele circuitului se fac în faţa tabloului.

Curenţii nominali ai fuzibilului pot fi: 6; 10; 15; 20; 25; 35; 40; 45; 60; 80; 100; 125; 160; 200 A.

Pentru a evita schimbarea greşită a patroanelor (înlocuirea unui patron cu fuzibil ars, printr-un alt patron, cu curent nominal mai mare), şurubul de contact din fundul soclului siguranţei este protejat cu un guler de porţelan care nu permite introducerea unui patron cu un fuzibil mai mare, decît dacă se înlocuieşte şurubul de contact cu un altul prevăzut cu un guler corespunzător patronului noului fuzibil.

În practică, acest guler de porţelan se distruge, astfel încît, în locul unui patron cu un fuzibil calibrat, se pune de obicei un patron oarecare, cu fire de sîrmă alese după apreciere. Această practică este dăunătoare deoarece, de multe ori, fuzibilul nu se topeşte la apariţia unei suprasarcini, în schimb se arde motorul sau cablul; în alte cazuri, pînă să se stingă arcul electric produs la topirea fuzibilului, se distrug contactele şi soclul siguranţei.

— *Siguranţele cu mîner* (fig. 12—5) au fuzibilul sub forma unei lamele *1*, fixate într-o piesă specială *2* în formă de mîner,

prevăzută cu piulițe de strîngere *3* și cuțite de contact *4*. Cuțitele de contact pătrund în contacte montate pe tablou și la care se leagă, prin spatele tabloului, conductoarele circuitului. Siguranțele cu mîner standardizate prin STAS 1563-50 și 4173-53, sînt folosite pînă la 500 V și 600 A.

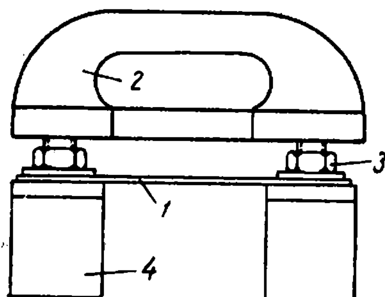


Fig. 12-5. Siguranță cu mîner:
1 — fuzibil; *2* — mîner; *3* — piulițe de strîngere; *4* — cuțit de contact.

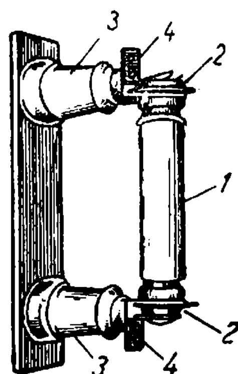


Fig. 12-6. Siguranță tubulară de înaltă tensiune:
1 — tub portfuzibil (patron); *2* — piese de contact; *3* — izolatoare suport; *4* — borne pentru legarea conductoarelor circuitului.

Curenții nominali ai fuzibilelor sînt:

60 — 80 — 100 — 125 — 160 — 200 A, pentru mînerul de 200 A

160 — 200 — 225 — 260 — 300 — 350 A, pentru mînerul de 350 A

300 — 350 — 430 — 500 — 600 A, pentru mînerul de 600 A.

— *Siguranțe tubulare* alcătuite dintr-un tub izolant, de obicei din porțelan, în care este așezat fuzibilul; tubul este prevăzut la capete cu cuțite sau piese de contact și se introduce cu capetele în două contacte așezate pe tablou, la joasă tensiune, sau pe două izolatoare, la înaltă tensiune (fig. 12—6).

Atît în cuprinsul aparatelor, cît și pe tablouri se utilizează în ultima vreme siguranțe formate dintr-un patron tubular închis, terminat la capete cu cîte un contact tip cuțit. Patronul se poate scoate ușor, cu ajutorul unui mîner detașabil care stă fixat la îndemînă (de exemplu sub capacul aparatului).

Siguranțele de înaltă tensiune, cînd sînt prevăzute cu mijloace de stingere a arcului electric, pot întrerupe curenți foarte mari (curenții de scurtcircuit), chiar în prima semiperioadă de la apariția curentului și chiar înainte ca acesta să atingă valoarea sa maximă. În felul acesta, siguranța limitează valoarea curentului de scurtcircuit, care poate apare în circuit, ceea ce permite o dimensionare mai economică a instalațiilor; aceste siguranțe se numesc *siguranțe limitatoare de curent.*

Alegerea siguranțelor[1]. Alegerea siguranțelor constă în a stabili valoarea curentului nominal al fuzibilului, în funcție de caracteristicile circuitului pe care vor fi montate aceste siguranțe.

Pentru înțelegerea celor ce urmează, este necesar să se definească întîi unele mărimi electrice în legătură cu caracteristicile circuitului.

— *Curentul admisibil prin conductor*, notat cu I_{ac}, este curentul care poate fi trecut timp nelimitat prin conductor, fără ca temperatura acestuia să depășească limitele admise. În capitolul XVI se dau curenții admisibili pentru unele tipuri de conductoare și cabluri.

— *Curentul nominal de sarcină al conductorului*, notat cu I_{ns}, este curentul care trece prin conductor cînd receptorii alimentați de acel conductor absorb puterea lor nominală. De obicei, curentul nominal de sarcină este mai mic decît curentul admisibil prin conductor, $I_{ns} < I_{ac}$, și aceasta din mai multe motive, în primul rînd din necesitatea de a menține căderile de tensiune în conductor în limitele admise (a se vedea capitolul XX, § 2).

— *Curentul de pornire al unui motor*, notat cu I_p, este curentul absorbit de motor în primul moment al conectării sale la o rețea; după cum se va vedea în capitolul XIV, acest curent poate fi de 4—7 ori mai mare decît curentul I_{nm} absorbit de motor în sarcina sa normală (nominală). În timpul cît motorul pornește (își mărește viteza, pînă la viteza normală) curentul absorbit de motor scade de la valoarea I_p pe care a avut-o inițial, la valoarea I_{nm} (fig.12—7). Timpul în care curentul de pornire scade la valoarea I_{nm} variază de la cîteva secunde (motoare mici) pînă la cîteva zeci de secunde (motoare mari care pun în mișcare dispozitive mari, de exemplu un pod rulant.)

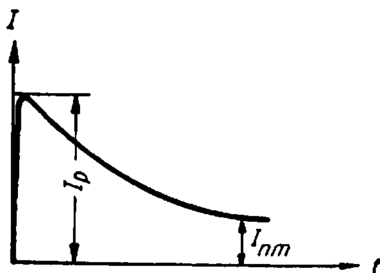


Fig. 12-7. Variația curentului absorbit de un motor în timpul pornirii motorului.

— *Curentul maxim al circuitului* (conductorului), notat cu I_{max}, este curentul maxim care poate apare la un moment dat în circuit. Curentul maxim este mai mare ca I_{ns}, din cauza curenților de pornire ai motoarelor.

Pentru conductoarele care alimentează un singur motor, curentul maxim este egal cu curentul de pornire al motorului respectiv:

$$I_{max} = I_p. \qquad (12.1)$$

[1] Vezi și capitolul XX.

Pentru conductoarele care alimentează mai multe receptoare, printre care se găsesc şi motoare electrice,

$$I_{max} = \Sigma I_{ns} + I_{p\ max} \qquad (12.2)$$

în care: $I_{p\ max}$ este curentul de pornire al motorului cu cel mai mare curent de pornire;
ΣI_{ns} — suma curenţilor de sarcină normală a celorlalte motoare şi receptoare.

La alegerea siguranţelor fuzibile trebuie să se ţină seama de următoarele condiţii:

— Pentru ca fuzibilul să nu se topească în funcţionare normală, curentul nominal al fuzibilului I_{nf}, trebuie să fie mai mare sau cel puţin egal cu curentul normal de sarcină I_{ns}, al circuitului respectiv,

$$I_{nf} \gg I_{ns}\,. \qquad (12.3)$$

— Pentru ca fuzibilul să nu se topească la pornirea motoarelor, curentul nominal al fuzibilului trebuie să respecte relaţia:

$$I_{nf} \geqslant \frac{I_{max}}{k} \qquad (12.4)$$

în care coeficientul k are următoarele valori:

$k = 2{,}5$ — în cazul motoarelor cu condiţii de pornire normale (porniri rare şi de durată scurtă, circa 5—10 s);

$k = 1{,}6 - 2$ — în cazul motoarelor cu condiţii grele de pornire (porniri dese şi de durată mare, pînă la 40 s).

— Faţă de curentul admisibil al conductorului I_{ac} curentul nominal al fuzibilului trebuie să respecte relaţia:

$$I_{ac} \geqslant \psi I_{nf} \qquad (12.5)$$

în care ψ este un coeficient care depinde de felul reţelei şi de suprasarcinile care pot apărea în reţea aşa cum se arată în tabela 12-2.

Cu cît ψ are o valoare mai apropiată 1,25, cu atît este mai redusă posibilitatea de a supraîncărca conductorul pe care s-a montat siguranţa, deoarece cînd conductorul ajunge la curentul maxim admisibil, fuzibilul este străbătut de un curent apropiat de curentul minim de topire, deci este pe punctul de a se topi. Astfel, se evită posibilitatea de a supraîncălzi conductorul şi prin aceasta de a-i îmbătrîni izolaţia.

Valorile coeficientului ψ din relaţia 12-5

Felul încăperii	Felul reţelei	$\psi = \frac{I_{ac}}{I_{nf}}$
Locuinţe, localuri publice; birouri şi încăperi de serviciu din întreprinderi industriale	*Reţele de forţă şi lumină* — conductoare în ţevi sau pe suporţi izolanţi — cabluri	 1,25 1
Încăperi de producţie ale întreprinderilor industriale	*Reţele de forţă* — Feedere * şi linii principale în ţevi .... — Feedere şi linii principale pe suporţi izolanţi .... — Feedere şi linii principale în cabluri subterane .... — Derivaţi spre receptoare cu regim de durată **, montate în ţevi .... — idem, montate pe suporţi izolanţi — idem, în cabluri .... — Derivaţii spre receptoare regim intermitent** în cabluri sau conductoare în ţevi *Reţele de lumină* — Feedere, linii principale şi derivaţii în cabluri, conductoare în ţevi sau pe suporţi izolanţi	 0,66 0,85 0,66 0,33 0,85 0,33 0,5 1
Încăperi în care există pericol de explozie	*Reţele de forţă şi lumină* — Feedere, linii principale şi derivaţii, cu conductoare în ţevi, pentru orice regim de funcţionare al receptoarelor .... — Idem, în cabluri	 1,25 1

*) Feeder se numeşte un cablu principal, care alimentează un receptor important (post de transformare, motoare mari etc.).

**) Regimul de durată şi intermitent se referă la funcţionarea continuă sau cu întreruperi a receptoarelor.

Pentru fuzibil se alege din scara curenţilor nominali ai fuzibilelor o valoare egală sau imediat superioară valorii maxime rezultate din condiţiile de mai sus.

De remarcat că în unele cazuri, condițiile de alegere a siguranței fuzibile impun (prin relațiile 12-4 și 12-5) mărirea secțiunii conductorului protejat.

Alegerea siguranțelor cu inerție sau cu întîrziere se face fără a mai ține seama de relația 12-2, deoarece aceste fuzibile nu se ard la șocurile de curent produse de pornirea motoarelor (durata acestor șocuri este scurtă, deci fuzibilul nu are timpul necesar să se ardă).

Acest fapt duce uneori (prin relația 12-5) la micșorarea secțiunii conductoarelor, față de cazul folosirii siguranțelor normale și deci la o economie de materiale conductoare în rețeaua electrică.

În cazul unei instalații obișnuite în care nu apar, sub formă de șoc, curenți mai mari decît curenții normali de sarcină, siguranțele fuzibile pentru protecția conductoarelor contra suprasarcinilor, se aleg, indiferent de tipul siguranței, conform tabelei 12–3.

Tabela 12–3

Siguranțe fuzibile pentru protecția conductoarelor instalațiilor electrice (sarcină permanentă, fără șocuri)

Secțiunea conductorului, în m²	Curentul nominal al fuzibilului I_{nf} în A				
	Instalație fixă în tuburi		Instalație fixă aeriană		Instalație mobilă
	Cupru	Aluminiu	Cupru	Aluminiu	Cupru
0,75	—	—	—	—	6
1	6	—	—	—	6
1,5	10	6	—	—	10
2,5	15	10	—	—	20
4	20	15	—	—	25
6	25	20	—	—	35
10	35	25	—	—	60
16	60	35	—	—	80
25	80	60	—	—	100
35	100	80	—	—	125
50	125	100	—	—	160
70	160	125	200	160	200
95	200	160	260	200	225
120	225	200	300	260	260
150	260	225	350	300	300
185	300	260	430	350	350
240	350	300	500	430	430
300	430	350	600	500	500
400	500	430	700	600	—
500	600	500	800	700	

b. Relee

Releul este un aparat care, sub influenţa unei mărimi pentru care releul a fost construit şi reglat şi pe care el o supraveghează, dă o comandă mecanică sau — de cele mai multe ori — o comandă electrică (prin închiderea sau deschiderea unor contacte ale sale). Releele sînt utilizate în instalaţiile electrice pentru protecţia acestora contra diferitelor situaţii anormale de funcţionare. Cînd releul sesizează o asemenea situaţie, el comandă deconectarea instalaţiei. Releele mai sînt utilizate în instalaţii industriale pentru automatizarea funcţionării lor, în funcţie de diferiţi parametri ai instalaţiei (tensiune, curent, viteză, presiune, debit, temperatură etc.).

Releele pot fi clasificate după mai multe criterii, şi anume:

după natura mărimii la care releul lucrează (pe care releul o supraveghează) releele pot fi:

— de tensiune,

— de curent,

— de putere,

— de timp etc;

după principiul de funcţionare, releele pot fi:

— relee electromagnetice, la care funcţionarea se bazează pe atragerea armăturii unui electromagnet;

— relee electrotermice, la care funcţionarea se bazează pe dilatarea unor piese încălzite cu ajutorul curentului electric;

— relee de inducţie, la care funcţionarea se bazează pe rotaţia unui disc de cupru sau aluminiu, datorită cuplului produs asupra discului prin fenomene de inducţie (ca la contorul de curent alternativ);

după modul cum sînt montate în circuit se deosebesc:

— relee primare, cînd sînt influenţate nemijlocit de mărimea supravegheată; bobinajele unui asemenea releu sînt parcurse chiar de curentul ce trebuie supravegheat (fig. 12-8, *a*) sau sînt alimentate chiar de tensiunea ce trebuie supravegheată (fig. 12-8, *b*);

— relee secundare, cînd sînt legate în circuit prin intermediul transformatoarelor de curent (fig. 12-8, *c*) sau de tensiune (fig. 12-8, *d*).

Releele primare se construiesc pentru o gamă largă de curenţi şi tensiuni, în scopul acoperirii în mod satisfăcător a necesităţilor foarte variate ale instalaţiilor electrice. Releele secundare se construiesc pentru un număr redus de curenţi şi tensiuni (de exemplu 5—10 A sau 100 V), adaptarea la necesităţile instalaţiei făcîndu-se cu ajutorul transformatoarelor de curent sau de tensiune.

În instalații de înaltă tensiune se folosesc în general numai relee secundare:

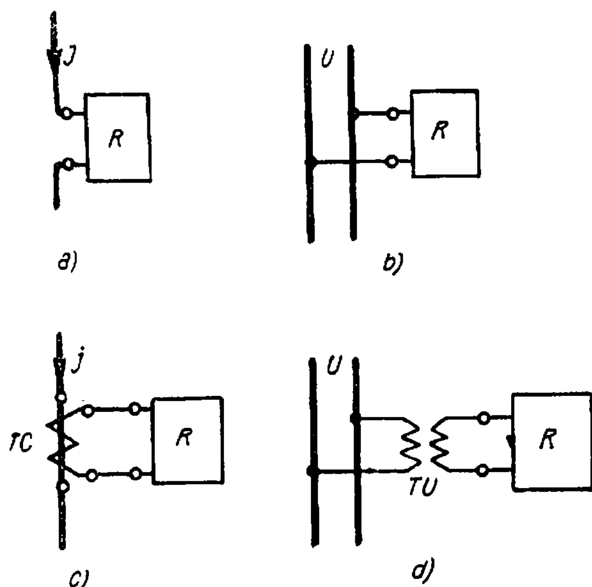


Fig. 12-8. Relee primare și secundare:

a — releu primar de curent; *b* — releu primar de tensiune; *c* — releu secundar de curent; *d* — releu secundar de tensiune; *R* — releu; *TC* — transformator de curent; *TU* — transformator de tensiune.

după modul cum transmit comanda releele pot fi:

— relee directe, care efectuează direct mișcarea corespunzătoare comenzii, prin intermediul unor pîrghii legate de partea mobilă a releului (fig. 12-9, *a*); de exemplu, la un întreruptor, releul direct acționează asupra dispozitivului care blochează întreruptorul în poziția închis, și ca urmare, întreruptorul se deschide;

— relee indirecte, la care, prin mișcarea piesei mobile, se închide sau se deschide un circuit electric, care — la rîndul său — alimentează un alt aparat (servomotor, contactor) cu ajutorul căruia se efectuează mișcarea mecanică corespunzătoare comenzii (fig. 12-9, *b*). Contactele releului se numesc contacte de lucru. La un releu, cînd acesta nu este parcurs de curent sau nu este

alimentat cu tensiune, contactele de lucru pot fi deschise (contactele *a*, fig. 12-9, *b*) sau închise (contactele *b*, fig. 12-9, *b*). Poziţia în care se găsesc contactele cînd releul nu este parcurs de curent sau nu este alimentat cu tensiune se numeşte poziţie normală; ca urmare, în figura 12-9, *b*, contactul *a* se numeşte contact normal închis, iar contactul *b* se numeşte contact normal deschis*. Cînd releul este parcurs de curent sau este pus sub tensiune, contactele normal deschise se închid, iar cele normal închise se deschid. Un releu poate avea mai multe contacte normal deschise şi mai multe contacte normal închise;

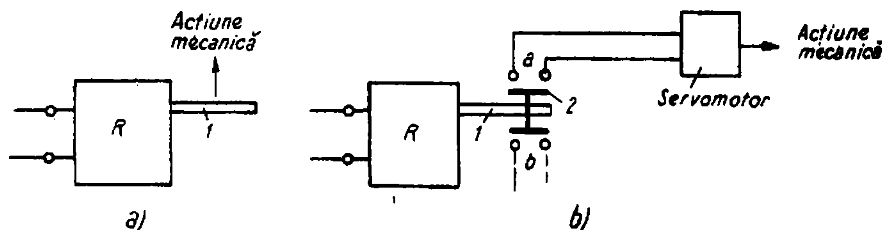


Fig. 12-9. Relee directe şi indirecte:

a) releu direct; *b*) releu indirect; *R* — releu; *1* — piesă mobilă a releului; *2* — punte conductoare de curent pentru închiderea sau deschiderea contactelor de lucru; *a* — contact normal deschis; *b* — contact normal închis.

după felul variaţiei mărimii care le acţionează releele pot fi:

— relee maximale, care lucrează atunci cînd valoarea mărimii supravegheate depăşeşte o anumită valoare reglată la releu;

— relee minimale, care lucrează la scăderea valorii mărimii sub o anumită valoare reglată;

după timpul de acţionare se deosebesc:

— relee instantanee, care acţionează practic în momentul în care mărimea supravegheată a atins valoarea reglată la releu;

— relee temporizate sau cu întîrziere, care acţionează după un timp anumit (reglabil), măsurat din momentul în care mărimea supravegheată a atins valoarea reglată.

Relee maximale şi minimale de curent sau tensiune. Releul maximal de curent cel mai frecvent utilizat este de tip electro-

---

* Denumirile de contact normal închis şi contact normal deschis se folosesc nu numai pentru contactele releelor, ci şi pentru alte contacte, ca, de exemplu, pentru contactele contactoarelor sau pentru butoanele de comandă manuală. La butoanele pentru comandă manuală, poziţia normală este poziţia în care se găseşte contactul, cînd butonul nu este apăsat.

magnetic. El conține (fig. 12-10) un miez magnetic *1*, cu o armătură mobilă *2*. Pe miezul magnetic *1* se găsește bobinajul *3* parcurs de curentul de supravegheat (sau de un curent proporțional cu acesta, dacă releul este secundar). Dacă curentul în bobinajul *3* depășește o anumită valoare, releul își atrage armătura mobilă și întinde resortul antagonist *4*; prin mișcarea armăturii, fie se execută comanda (dacă releul este direct), fie se închid sau deschid contactele de lucru *a* (dacă releul este indirect, cazul din fig. 12-10).

Curentul la care releul își atrage armătura — numit curent de lucru — poate fi reglat prin ajustarea prealabilă a resortului *4* (întinzînd arcul mai mult, curentul de lucru crește). La unele relee, curentul de lucru mai poate fi reglat prin schimbarea întrefierului inițial δ cu ajutorul unui șurub de reglaj *6*; mărind întrefierul inițial, curentul de lucru crește. De asemenea, curentul de lucru mai poate fi reglat prin schimbarea numărului de spire ale bobinajului releului; mărind numărul de spire, curentul de lucru scade.

De obicei, la releele folosite pentru protecție, curentul de lucru se reglează prin schimbarea tensiunii resortului antagonist; la releele de construcție mai îngrijită, elementul de reglaj al resortului (șurub, pîrghie) deplasează un indicator în fața unei scări gradate pe care sînt înscrise valorile curenților de lucru ai releului.

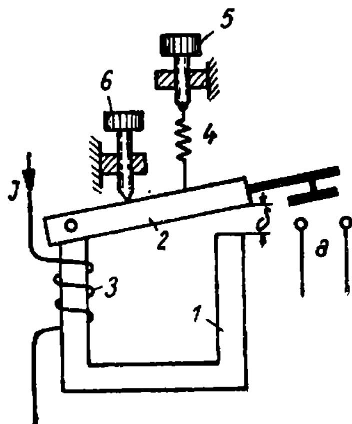


Fig. 12-10. Releu maximal de curent (principiu):
1 — miez magnetic; *2* — armătură mobilă; *3* — bobinaj; *4* — resort antagonist; *5* — șurub de reglaj al resortului *4*; *6* — șurub de reglaj al întrefierului inițial δ; *a* — contacte de lucru.

Dacă curentul supravegheat scade sub valoarea reglată, resortul *4* aduce armătura în poziția inițială (se spune că releul are revenire automată).

În mod analog se construiesc relee electromagnetice maximale de tensiune sau relee minimale de curent și relee minimale de tensiune. Releele minimale mențin armătura atrasă și o eliberează cînd curentul, respectiv tensiunea, scad sub valoarea reglată. La releele de tensiune, bobina este o bobină de tensiune (adică este executată dintr-un conductor de secțiune mică, cu un număr mare de spire). Dintre aceste ultime relee, cele mai des folosite sînt releele minimale de tensiune, denumite și relee de tensiune nulă.

Conform STAS 4196-53, releul minimal de tensiune, folosit la protecția instalațiilor de forță și iluminat, trebuie:

— să atragă armătura sa la 0,9 din tensiunea nominală, fără să vibreze;

— să rețină armătura sa la 0,7 din tensiunea nominală, admițîndu-se o ușoară vibrație;

— să elibereze armătura la o tensiune sub 0,7 din tensiunea nominală și să o elibereze sigur la 0,35 din tensiunea nominală.

Releele maximale și minimale de curent sau de tensiune de tip electromagnetic se construiesc pentru curent continuu, cît și pentru curent alternativ. În curent continuu, miezul și armătura electromagnetului se construiesc din oțel masiv; în curent alternativ, aceste piese se construiesc din tole, pentru a micșora pierderile în fier. În curent alternativ, forța de atracție a armăturii este variabilă, trecînd prin zero ori de cîte ori trece prin zero și curentul din bobinajul releului (la o frecvență a curentului de 50 Hz, forța trece prin zero de 100 ori pe secundă). Aceasta provoacă o vibrație a armăturii care produce un bîzîit; vibrațiile se transmit și la contacte, înrăutățind funcționarea lor. Pentru a reduce această vibrație, pe o parte din polul electromagnetului se montează o spiră în scurtcircuit (fig. 12-11).

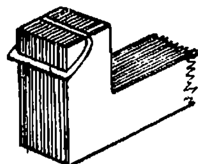


Fig. 12-11. Spiră în scurtcircuit pentru reducerea vibrațiilor armăturii unui electromagnet.

Reducerea vibrațiilor armăturii se explică astfel: datorită curenților induși în această spiră, fluxul magnetic care trece prin zona închisă de spiră este defazat față de fluxul care trece prin restul secțiunii polului.

Fiecare zonă a polului produce cîte o forță de atracție asupra armăturii, însă momentul trecerii prin zero a acestor forțe nu coincide. Ca urmare, forța de atracție rezultantă asupra armăturii nu mai trece prin zero, iar vibrațiile sînt astfel reduse.

În figura 12-12 este reprezentată construcția unui releu maximal de curent de tip electromagnetic, cu armătură rotitoare, folosit ca releu secundar. La acest releu, cînd curentul depășește valoarea curentului de lucru, armătura se rotește, așezîndu-se în prelungirea capetelor circuitului magnetic fix (linia trasată punctat). Pe același principiu se construiesc și releele maximale sau minimale de tensiune.

Releele de tip electromagnetic, construite ca relee de tensiune sau de curent, maximale sau

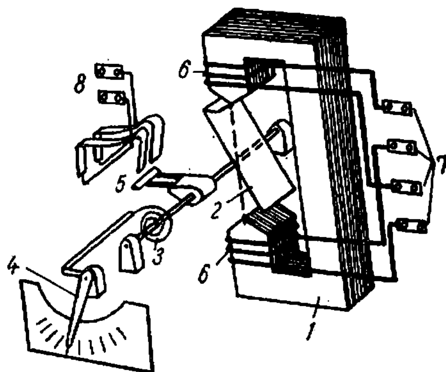
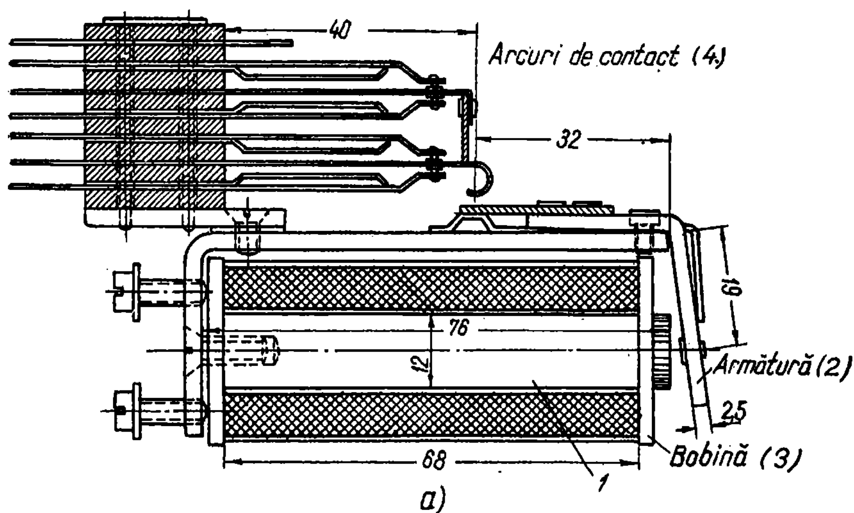


Fig. 12-12. Releu electromagnetic cu armătură rotitoare:

1 — miezul electromagnetului; 2 — armătură rotitoare (paletă); 3 — arc antagonist; 4 — reglajul arcului antagonist; 5 — contacte de lucru; 6 — bobinaje (releul are bobinajul împărțit în două jumătăți care se pot monta în serie sau în paralel); 7 — bornele bobinajelor; 8 — bornele contactelor de lucru.

minimale, sînt folosite mult atît la protecţia instalaţiilor electrice, cît şi la automatizarea lor. Pentru exemplificare, în figura 12-13 se reprezintă un releu de curent continuu folosit în mod curent în instalaţiile de automatizare.



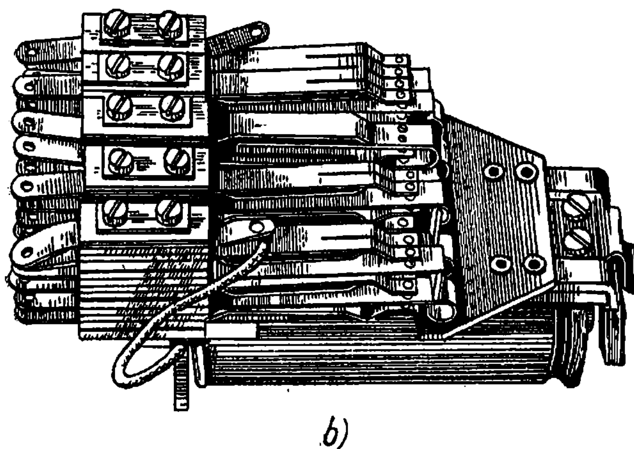


Fig. 12—13. Relee electromagnetice de curent continuu folosite în instalaţiile de automatizare:

1 — miez; 2 — armătură; 3 — bobină; 4 — contact de lucr

Releele descrise mai sus au acțiune instantanee. În figura 12-14 se arată un releu maximal de curent, cu temporizare, secundar și indirect, folosit des în practică la protecția motoarelor mari și a liniilor, funcționînd pe principiul de inducție; acest releu se construiește și la noi în țară, după modelul releului sovietic tip IT.

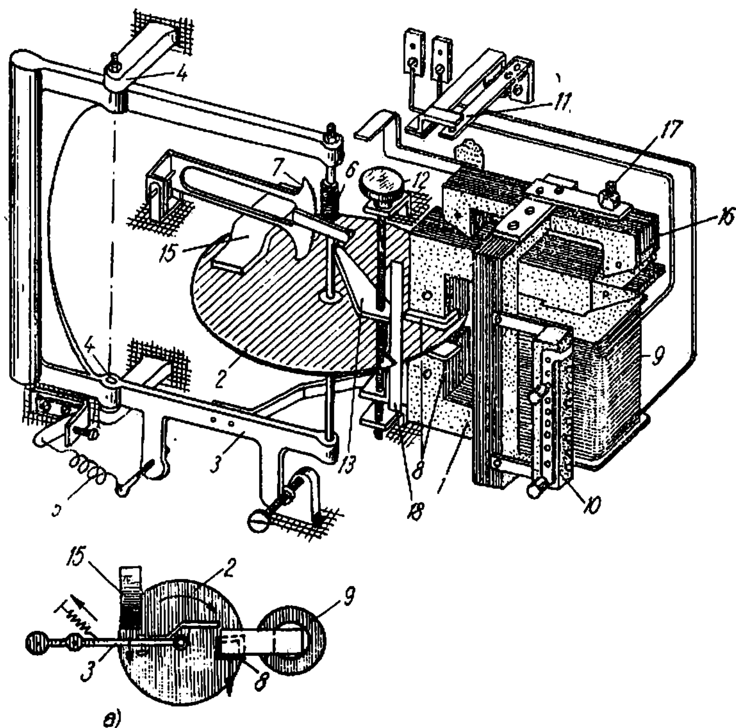


Fig. 12–14 a. Releu maximal de curent tip *IT*:

a — construcția releului; *1* — miez de tole; *2* — disc; *3* — cadru; *4* — lagăre; *5* — arc; *6* — șurub fără sfîrșit; *7* — sector dințat; *8* — spire de scurtcircuit; *9* — bobină; *10* — prize; *11* — contacte de lucru; *12* — șurub; *13* — piesă de sprijin; *14* — braț; *15* — magnet permanent; *16* — armătură; *17* — șurub de reglaj; *18* — scară gradată.

Releul cuprinde un miez din tole *1*, în întrefierul căruia se poate roti un disc *2*. Discul este suspendat pe un cadru *3*, care se poate roti în lagărele *4*. Arcul *5* reține cadrul *3*, astfel că în mod normal șurubul fără sfîrșit *6* de pe axul discului *2* nu cuplează în sectorul dințat *7*. Datorită spirelor în scurtcircuit *8*, montate pe o parte din secțiunea polilor circuitului magnetic, la trecerea curentului prin bobina *9*, discul *2* se va roti (ca la contor), iar asupra cadrului *3* se va exercita un cuplu. Bobina *9* are o serie de

prize *10*, pentru curenţi de la 2-10 A. Cînd curentul care trece prin bobină depăşeşte valoarea corespunzătoare scrisă pentru priza respectivă, cuplul antagonist dat de arcul *5* este învins şi cadrul *3* se mişcă astfel, încît şurubul *6* cuplează cu sectorul dinţat *7*. Discul, rotindu-se, sectorul *7* se ridică şi după un timp oarecare provoacă închiderea contactelor de lucru *11*. Acest timp poate fi reglat cu ajutorul şurubului *12*, ridicînd sau coborînd piesa de sprijin *13*. Atît timp cît sectorul dinţat *7* nu este cuplat cu şurubul *6*, sectorul dinţat cade sub propria lui greutate şi se sprijină pe piesa *13*, prin intermediul braţului *14*. Cu cît piesa de sprijin *13* se află mai jos, cu atît timpul de acţionare

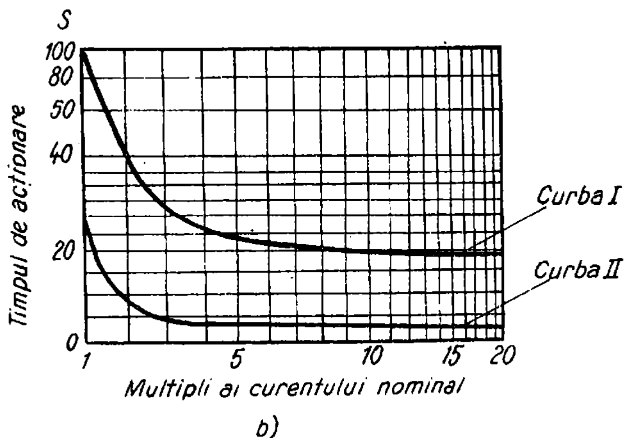


Fig. 12–14 b. Releu maximal de curent tip *IT*:
b — caracteristica de protecţie a releului.

al releului va fi mai mare. Mişcarea discului este uniformizată cu ajutorul magnetului permanent *15*.

Cînd curentul depăşeşte cu mult valoarea corespunzătoare prizei respective, fluxul de scăpări din miezul *1* atrage armătura *16*, care închide instantaneu contactele de lucru. Curentul la care se produce atragerea armăturii *16* poate fi reglat cu ajutorul şurubului *17*, prin apropierea sau depărtarea armăturii de miezul *1*, între de două ori pînă la de opt ori curentul corespunzător prizei pe care este pusă bobina *9*.

Caracteristica de protecţie a releului IT este reprezentată în figura 12-14,*b*. Cele două curbe din această figură reprezintă limitele între care poate fi reglat timpul. Astfel, la un anumit curent, timpul maxim care poate fi reglat cu ajutorul şurubului *12* se citeşte pe curba I, iar timpul minim, pe curba II. Se menţionează că în timpul reglajului, şurubul *12* deplasează un indice în faţa scării *18* gradate între 0,5 şi 16 s. Timpul indicat pe scara *18* reprezintă numai timpul de acţionare al releului atunci cînd prin el trece un curent egal cu de 10 ori curentul corespunzător prizei folosite la bobina 9.

Acest releu poate acţiona, după cum s-a arătat, atît temporizat cît şi instantaneu, ceea ce reprezintă un mare avantaj faţă de alte relee care acţionează numai temporizat sau numai instantaneu.

Relee temporizate. În figura 12-14 s-a reprezentat un releu de inducţie cu acţiune temporizată şi principiul temporizării în

acest caz. La releele electromagnetice de curent sau de tensiune, temporizarea se realizează introducînd un mecanism de temporizare (mecanism de ceasornicărie) între armătură și contactele releului (fig. 12-15). Cînd armătura este atrasă, armătura pune în funcțiune mecanismul de ceasornicărie S, iar după trecerea unui anumit timp (reglabil), mecanismul de ceasornicărie efectuează închiderea sau deschiderea contactelor de lucru a. De obicei, temporizarea la aceste relee are loc numai la atragerea armăturii, revenirea contactelor în poziție normală, sub acțiunea resortului R

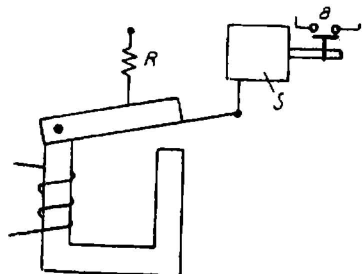


Fig. 12-15. Releu temporizat.

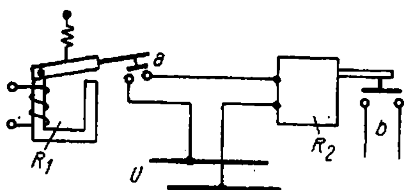


Fig. 12-16. Principiul temporizării acțiunii releelor instantanee:
R_1 — releu cu acțiune instantanee;
R_2 — releu de timp.

cînd armătura este eliberată, făcîndu-se instantaneu. Pe acest principiu se bazează construirea releelor de curent sau de tensiune, maximale sau minimale, temporizate.

Releul electromagnetic temporizat este folosit și pentru a transmite cu anumită întîrziere comenzile unor relee cu acțiune instantanee, în care caz releul se numește și releu de timp. În acest scop (fig. 12-16), contactele a ale releului R_1 cu acțiune instantanee închid circuitul bobinei releului de timp R_2, alimentînd-o cu o tensiune constantă; releul de timp își închide sau deschide contactele b cu întîrziere și transmite mai departe, cu aceeași întîrziere, comanda releului cu acțiune instantanee.

Releele temporizate sau de timp, construite după principiul electromagnetic arătat mai sus, pot funcționa atît în curent continuu, cît și în curent alternativ.

În curent continuu, temporizarea releelor electromagnetice, folosite la instalațiile de automatizare, se poate realiza și pe baza curenților induși într-un tub de cupru montat pe miezul bobinei. Acești curenți apar, prin fenomenul de inducție, ori de cîte ori variază fluxul magnetic prin miez. În consecință, ei apar la conectarea sau deconectarea releului. Potrivit regulii lui Lenz, fluxul

magnetic produs de acești curenți are un astfel de sens, încît fluxul magnetic rezultat prin miez tinde să rămînă constant; ca urmare, la conectarea releului, cînd fluxul total ar trebui să crească, datorită curenților induși, creșterea fluxului total prin miez este întîrziată (frînată). Aceasta atrage după sine și întîrziere în atragerea armăturii și, prin urmare, și temporizare în acțiunea releului. În mod analog, la deconectarea releului este întîrziată anularea fluxului total și deci este întîrziată eliberarea armăturii. Variind dimensiunile tubului din cupru sau tensiunea resoartelor care mențin armătura mobilă depărtată de miez, se poate schimba valoarea temporizării. În cazul descris, releul este temporizat atît la închiderea, cît și la deschiderea contactelor sale de lucru. Folosind o serie de procedee electrice, se poate realiza ca temporizarea să se manifeste numai la închiderea sau numai la deschiderea contactelor de lucru ale releului.

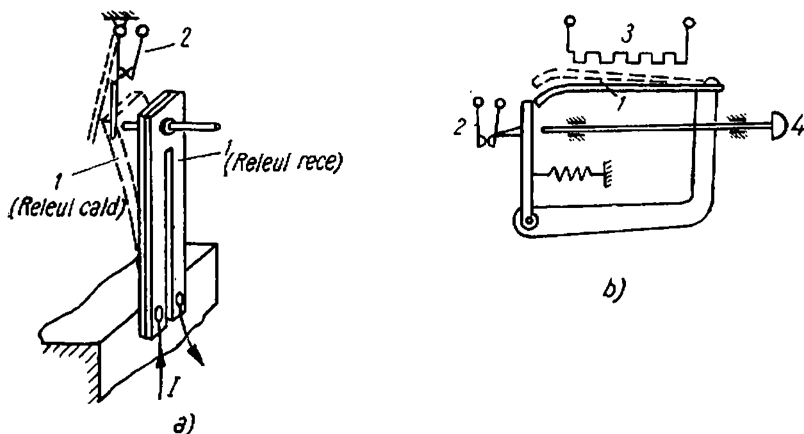


Fig. 12-17. Relee electrotermice:
a — cu încălzire directă; *b* — cu încălzire indirectă; *1* — lamă bimetal; *2* — contacte de lucru; *3* — rezistență de încălzire; *4* — buton de revenire.

Relee electrotermice. Releele electrotermice sînt relee maximale de curent, funcționînd pe baza dilatării inegale a două metale diferite, încălzite cu ajutorul curentului electric care trebuie supravegheat. Releele electrotermice (fig. 12-17) conțin o lamă bimetalică *1*, formată prin lipirea a două lamele din metale diferite. Lama bimetalică este încălzită cu ajutorul curentului electric care trebuie supravegheat. Din acest punct de vedere releele pot fi:

— cu încălzire directă, cînd bimetalul este încălzit direct prin trecerea curentului chiar prin lama bimetal (fig. 12-17, *a*);

— cu încălzire indirectă, cînd bimetalul este încălzit indirect, prin intermediul unei rezistențe *3*, străbătute de curent (fig. 12-17, *b*).

Cînd lama bimetalică (bimetalul) este încălzită, ea se încovoaie, deoarece — prin dilatare — cele două straturi de metal se lungesc diferit. Dacă prin depășirea curentului admis, lama se încovoaie prea mult, ea deschide (sau închide) contactele de lucru *2* ale releului. Prin contactele sale de lucru sau prin acțiune directă, releul transmite comanda după un timp cu atît mai mic, cu cît curentul care trece prin releu este mai mare.

Spre deosebire de alte relee, de exemplu releul electromagnetic maximal de curent, care revine automat în poziția normală, cînd curentul a scăzut sub valoarea reglată pe releu, la releul electrotermic revenirea lamelei bimetalice în poziția normală nu se face în general automat, ci manual, prin apăsarea pe butonul *4* (fig. 12-17), numit buton de revenire. În acest mod, personalul de exploatare este forțat să ia cunoștință că în instalație a apărut o suprasarcină, că este necesar să găsească cauza suprasarcinii și să o elimine.

Curentul maxim care poate fi trecut prin releu și la care releul încă nu lucrează, chiar dacă curentul trece prin releu timp nelimitat, se numește valoare reglată, sau curent de lucru al releului. Valoarea curentului de lucru poate fi și ea reglată (poate fi făcută mai mare sau mai mică) prin schimbarea depărtării între lama bimetalică și contactele de lucru sau prin schimbarea rezistenței de încălzire (dacă rezistența de încălzire se micșorează, căldura degajată 0,24 RI^2t calorii este mică, releul se încălzește mai greu, valoarea curentului de lucru se mărește). Cea mai mare valoare a curentului de lucru care poate fi reglată pe releu se numește curent nominal al releului. Curentul nominal al releului este marcat pe releu sau este egal cu curentul nominal al aparatului în care este montat releul. Reglarea curentului de lucru se face practic prin deplasarea unui reper în fața unei scări pe care sînt marcate fracțiuni zecimale (de obicei de la 0,6—1); aducînd reperul la diviziunea 0,7, înseamnă că releul va lucra la un curent egal cu 0,7 din curentul nominal al releului. După cum s-a arătat, releul electrotermic nu lucrează însă instantaneu.

Conform STAS 4196-53, releele electrotermice folosite la protecția motoarelor electrice contra suprasarcinilor trebuie să aibă o caracteristică de protecție care să respecte următoarele cerințe:

— la un curent cu 5% mai mare decît valoarea reglată, nu trebuie să acționeze în timp de 2 ore;

— la un curent cu 20% mai mare decît valoarea reglată, trebuie să acționeze în timp de 2 ore;

— la un curent cu 50% mai mare decît valoarea reglată, trebuie să acționeze în timp de 2 min;

— la un curent de 7 ori curentul nominal al releului, releul trebuie să funcționeze practic instantaneu și să nu-și modifice caracteristica de protecție.

Deoarece încălzirea lamelei bimetalice se face după un anumit timp, releele electrotermice nu acționează la șocurile de curent de scurtă durată (de exemplu la curenții de pornire ai motoarelor), ci la curenți de lungă durată care sînt mai mari decît o anumită valoare reglată la releu.

Releele electrotermice sînt folosite pentru a asigura protecţia instalaţiilor electrice contra suprasarcinilor; ele trebuie să comande deconectarea instalaţiei după un timp care depinde de mărimea suprasarcinii, aşa cum s-a arătat mai sus, astfel încît, în acest timp, încălzirea instalaţiei să nu depăşească limitele de încălzire admise.

Releele electrotermice se mai numesc pe scurt şi relee termice.

4. Aparate de conectare

Aparatele de conectare sînt următoarele: întreruptoare, separatoare, contactoare, ruptoare, comutatoare, controlere, prize de curent cu fişe.

a. Întreruptoare

Întreruptoarele sînt aparate care închid sau deschid circuitele electrice sub sarcină, adică circuitele care sînt străbătute de curenţi electrici.

În esenţă, un întreruptor conţine unul sau mai multe contacte fixe şi un număr de contacte mobile. Cînd contactele mobile sînt aduse în contact cu cele fixe, întreruptorul este închis şi în felul acesta se asigură continuitatea electrică a circuitului pe care este montat întreruptorul (circuitul este şi el închis); cînd contactele mobile sînt depărtate de cele fixe, întreruptorul este deschis, iar circuitul respectiv este întrerupt (deschis).

În mod constructiv, contactele mobile ale unui întreruptor se pot realiza aşa cum se arată principial în figura 12-18, în mai multe feluri:

— sub forma unei lame mobile *M*, care articulează în punctul *A*, şi care prin rotire în jurul articulaţiei poate fi introdusă în contactul fix *F* (fig. 12-18,*a*). Acest fel de contact se mai numeşte contact cuţit sau pîrghie (v. fig. 12-19, 12-20);

— sub forma unei traverse mobile *M*, care prin ridicare poate fi pusă în contact cu două contacte fixe *F* (fig. 12-18,*b*). Acest contact, după cum se vede, face o dublă întrerupere (v. şi fig. 12-25);

— sub forma unei tije mobile *M*, care prin deplasare poate fi introdusă într-un contact fix *F* (fig. 12-18, *c*) (v. şi fig. 12-26) etc.

Cea mai grea situaţie pentru întreruptor apare atunci cînd el trebuie să întrerupă curenţii de scurtcircuit, deoarece aceştia

pot fi foarte mari în raport cu curentul normal de sarcină al circuitului. Întreruperea unui circuit sub sarcină este însoțită de apariția arcului electric între contactele fixe și cele mobile ale întreruptorului. Arcul se stinge cu atît mai greu, cu cît tensiunea și curentul sînt mai mari; în aceste cazuri (curent și tensiune mare), construcția contactelor întreruptorului devine foarte complicată. Prin temperatura sa ridicată, arcul electric distruge contactele, făcîndu-le inutilizabile cu timpul. De aceea,

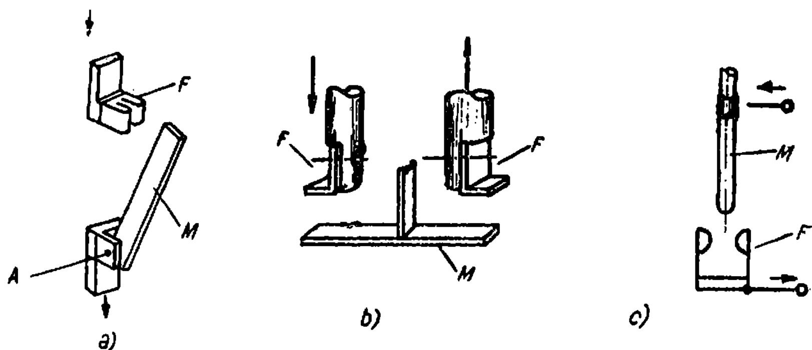


Fig. 12–18. Principiul de construcție a contactelor întreruptoarelor: *a* — contact cuțit; *b* — contact cu dublă întrerupere; *c* — contact cu tijă mobilă.

stingerea arcului la tensiuni și curenți mari necesită măsuri speciale care să micșoreze durata arcului, și anume:

— desfacerea contactelor cu viteză mare;

— folosirea unor dispozitive speciale, numite dispozitive de stingere a arcului, care se așază în jurul contactelor.

Întreruptoarele sînt caracterizate printr-o serie de mărimi indicate în cataloage sau în norme; cunoașterea acestor mărimi este utilă pentru a putea folosi în mod rațional întreruptoarele. Cele mai importante dintre aceste mărimi sînt:

Tensiunea nominală U_n este cea mai mare tensiune standardizată pentru care a fost construit și la care poate fi folosit întreruptorul.

Curentul nominal I_n este curentul cel mai mare care poate trece prin întreruptor timp nelimitat, fără ca încălzirea lui să depășească limitele admise de norme.

Curentul de rupere I_{rup} este cel mai mare curent pe care îl poate întrerupe întreruptorul la tensiunea nominală, rămînînd în bună stare de funcționare.

Puterea de rupere S_{rup} (pentru un întreruptor trifazat) este puterea dată de expresia:

$$S_{rup} = \sqrt{3}\, U_n I_{rup}. \qquad (12.6)$$

Ea se măsoară în MVA.

La aparatele de joasă tensiune nu se dă puterea de rupere, ci *capacitatea de rupere* a întreruptorului. Capacitatea de rupere a unui întreruptor este curentul maxim pe care îl poate întrerupe întreruptorul la o tensiune dată.

Întreruptoarele pot fi neautomate (manuale) sau automate.

Întreruptoarele neautomate sau manuale sînt întreruptoarele a căror închidere și deschidere se face numai manual, pe seama energiei mușchilor omului, fie direct, fie printr-o transmisie cu pîrghii.

Acest fel de întreruptoare sînt de tipul indicat în figura 12-19, *a*, și din acest motiv se numesc întreruptoare cu pîrghie. Ele sînt folosite numai la joasă tensiune și se montează pe un tablou, fie în fața tabloului (fig. 12-19, *a*), fie în spatele tabloului (fig. 12-19, *b*). Aceste întreruptoare sînt construite (după STAS 2425-51) pentru tensiunea nominală de 500 V și curenți

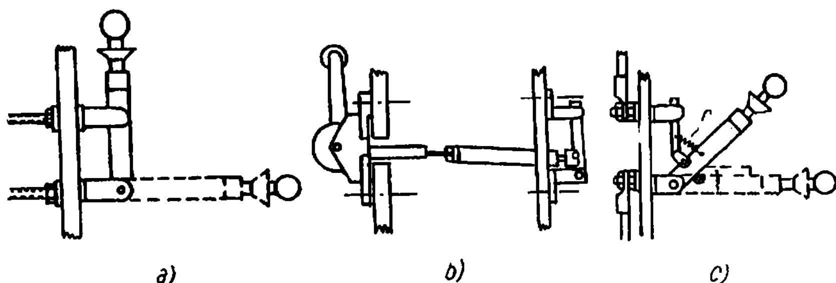


Fig. 12–19. Întreruptoare cu pîrghie:
a — montat în fața tabloului; *b* — montat în spatele tabloului; *c* — întreruptor cu contact auxiliar.

nominali de 25, 60, 100 și 20 A. Capacitatea lor de rupere este egală cu curentul nominal, la0tensiuni de cel mult 220 V, în curent continuu, sau la tensiuni de cel mult 380 V și cos $\varphi \geqslant 0{,}8$, în curent alternativ.

Întreruptoarele cu pîrghie sînt construite monopolare, bipolare sau tripolare și sînt folosite la instalațiile de forță și lumină, de putere mică. La puteri mai mari se recomandă folosirea lor ca separatoare; în acest caz, ele sînt construite și pentru curenți de 350, 600, 1 000 A sau chiar de 1 500, 2 000

şi 3 000 A; capacitatea de rupere a acestor întreruptoare — separatoare manuale — este nulă, adică ele nu pot fi folosite pentru ruperea curenţilor din circuit (ruperea curenţilor din circuit trebuie făcută cu un întreruptor automat montat în serie cu întreruptorul manual); deschiderea acestor întreruptoare sub sarcină (sub curent) poate duce la apariţia unor arcuri electrice prea puternice, care distrug contactele sau se pot întinde între faze, producînd un scurtcircuit între faze.

Unele construcţii de întreruptoare cu pîrghie au şi un contact auxiliar (fig. 12-19, *c*) numit de rupere. Contactul auxiliar şi cel principal sînt strînse între ele printr-un resort *r*. La deschidere, se desface întîi contactul principal, resortul se întinde şi, la un moment dat, sub acţiunea forţei produse de el, se desface şi contactul auxiliar cu o viteză mare, indiferent de viteza cu care a fost deschis contactul principal. Aceasta garantează stingerea arcului în bune condiţii, indiferent de viteza cu care este manevrat întreruptorul la deschidere. În afară de aceasta, arcul electric se formează între contactul fix şi cel de rupere, protejînd astfel contactul pricipal.

Întreruptoarele automate sînt întreruptoarele care pot fi deschise automat sub comada releelor. La întreruptoarele automate de joasă tensiune, releele sînt cuprinse chiar în construcţia întreruptorului; la înaltă tensiune, releele, în general relee secundare, sînt montate în afara construcţiei întreruptorului.

Întreruptorul este închis printr-un sistem de pîrghii, acţionat manual printr-o pîrghie sau un volan de acţionare (fig.12-25) electric (electromagnet, motor) sau pneumatic (aer comprimat), prin rotirea unei manete sau apăsare pe un buton. Simultan cu mişcarea de închidere a contactelor întreruptorului este armat şi un resort (resortul este întins sau comprimat). O dată închis, întreruptorul rămîne blocat în această poziţie, datorită unui dispozitiv de zăvorîre sau zăvor, chiar după ce încetează acţiunea de închidere a întreruptorului; cînd se dă comanda de deschidere, se deblochează dispozitivul de zăvorîre şi, sub acţiunea resortului amintit mai sus, contactele întreruptorului se deschid cu o viteză mare. Deblocarea dispozitivului de zăvorîre se poate face voit (fie mişcînd în sens invers pîrghia sau volanul de acţionare, fie apăsînd pe un buton special pentru deschiderea întreruptorului) sau automat, sub acţiunea releelor; releele pot efectua deblocarea dispozitivului de zăvorîre fie direct (fig. 12-21, *a*), în mod mecanic, prin intermediul unor pîrghii acţionate de armătura mobilă a releelor (cazul releelor directe), fie indirect, prin intermediul unui electromagnet numit şi declanşator, alimentat prin contactele de lucru ale releelor (fig. 12-21, *b*; 12-23; 12-24).

Releele folosite pentru a comanda deschiderea automată a întreruptorului sînt: relee maximale de curent, cu acțiune instantanee sau cu acțiune temporizată, relee electrotermice și relee minimale de tensiune (de multe ori releul minimal de tensiune joacă și rolul de declanșator). Se menționează că, în general, un întreruptor are toate aceste trei tipuri de relee numai dacă prin el se conectează la rețea un motor electric.

Aceste relee au drept scop să comande deschiderea întreruptorului, atunci cînd în circuitul pe care este montat întreruptorul apar regimuri anormale de funcționare.

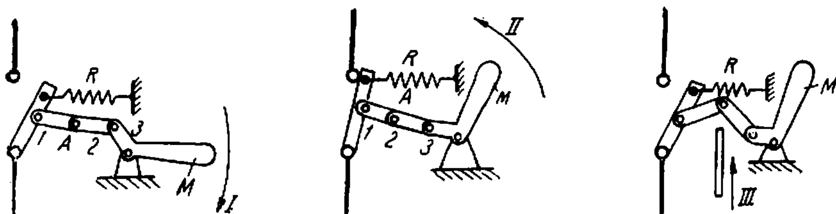


Fig. 12-20. Principiul de funcționare a mecanismului cu liberă deschidere: I — pregătirea închiderii; II — închiderea întreruptorului; III — deschiderea întreruptorului la comanda releelor.

Construcția dispozitivelor de închidere și deschidere a întreruptoarelor automate, numite dispozitive de acționare, variază mult de la caz la caz. În cele ce urmează se va descrie numai sistemul manual, denumit „cu liberă deschidere“ (sau liberă declanșare), folosit mult la întreruptoarele automate de joasă tensiune și al cărui principiu este arătat în figura 12-20.

Pentru a putea închide întreruptorul, se deplasează întîi maneta *M* în jos (I), astfel încît pîrghiile *1* și *2* să ajungă în prelungire (la punctul mort). Apoi se deplasează maneta *M* în sus (II); prin această mișcare, întreruptorul se închide. La sfîrșitul mișcării de închidere, resortul *R* este întins, iar pîrghiile *1*, *2* și *3* sînt în prelungire (la punctul mort), asigurînd astfel menținerea în stare închisă a întreruptorului (pîrghiile asigură și zăvorîrea întreruptorului). Cînd — prin intervenția unui releu oarecare — articulația *A* este împinsă în sus (III), întreruptorul se deschide sub acțiunea resortului *R* fără să fie necesară mișcarea manetei de acționare.

Din cele arătate mai sus rezultă că întreruptoarele au poziție stabilă (blocată sau zăvorîtă) atît în poziția deschis, cît și în cea închis, pentru trecerea în altă poziție fiind necesar să se dea o comandă distinctă.

Schemele electrice ale întreruptoarelor automate sînt de asemenea foarte variate. În figura 12—21, *a* se dă schema electrică de principiu a unui întreruptor automat cu relee maximale de curent și cu relee electrotermice, iar în figura 12—21, *b*, schema de principiu a unui întreruptor automat care are și releu minimal de tensiune.

Întreruptorul *1* din figura 12–21, *a* este figurat în poziția închis, *D* fiind dispozitivul de acționare (închidere), iar *R* resortul pentru deschidere. Întreruptorul este zăvorît în poziția închis de bara *1*, care reține ciocul *2*. Întreruptorul este prevăzut cu releul maximal de curent *RM*, parcurs de curentul din circuit; în cazul de față, releul *RM* este un releu primar, direct. Dacă curentul în circuit depășește o anumită valoare, acest releu își atrage armătura, iar armătura trage în jos bara *1*, dezăvorînd întreruptorul; resortul *R* deschide instantaneu contactele întreruptorului. Întreruptorul are și releul electrotermic *RT*,

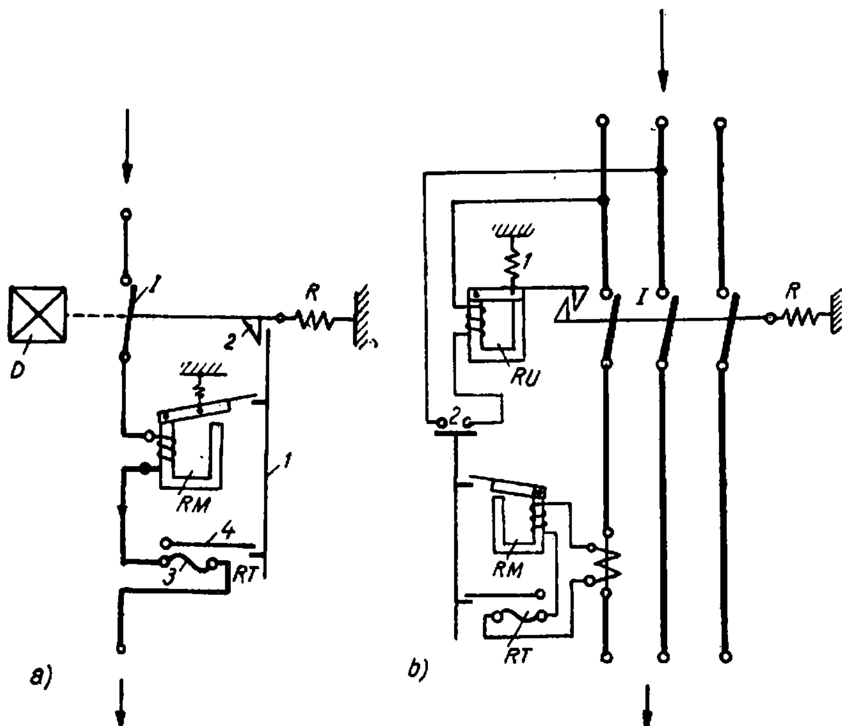


Fig. 12–21. Schemele de principiu ale întreruptoarelor automate.

al cărui element de încălzire *3* este de asemenea parcurs de curentul din circuit; dacă acest curent depășește valoarea reglată la releu, lama bimetal *4* se încovoaie și dezăvorește întreruptorul ca în cazul precedent, însă după un timp oarecare de la stabilirea curentului peste valoarea reglată.

Întreruptorul din figura 12–21, *b* are în plus un releu minimal de tensiune *RU* cu bobinajul alimentat de rețeaua pe care este montat întreruptorul. La acest întreruptor zăvorîrea este realizată de releul minimal de tensiune. Dacă tensiunea rețelei scade sub valoarea admisă, releul *RU* își eliberează armătura sub acțiunea resortului *1* și dezăvorăște întreruptorul, care se deschide instantaneu sub acțiunea resortului *R*. Releul maximal de curent *RM* și releul

electrotermic *RT* sînt în acest caz relee secundare şi nu acţionează direct asupra dispozitivului de zăvorîre ca în figura 12–21, *a*, ci prin intermediul releului minimal de tensiune *RU*. În acest scop, în circuitul bobinei releului minimal de tensiune există un contact *2*, care este închis cînd releul maximal de curent şi cel electrotermic nu lucrează; cînd lucrează aceste relee, ele deschid contactul *2*, dispare tensiunea de la releul de tensiune şi acesta dezăvorăşte întreruptorul. În figura 12–21,*b*, releul maximal de curent şi cel electrotermic au acelaşi contact de lucru *2*; în alte cazuri, în circuitul releului minimal de tensiune se montează în serie două contacte, unul pentru releul maximal de curent, altul pentru releul electrotermic, funcţionarea fiind aceeaşi ca mai sus (fig. 12–24).

În sfîrşit, se menţionează că în multe cazuri bobina releului minimal de tensiune este chiar bobina dispozitivului de acţionare a întreruptorului (fig.12–23).

După mediul de stingere al arcului electric, întreruptoarele automate pot fi întreruptoare în aer, întreruptoare în ulei, întreruptoare cu expansină, întreruptoare cu aer comprimat şi întreruptoare cu autoformare de gaze.

Întreruptoare în aer. La aceste întreruptoare, stingerea arcului se face în aer liber. Pentru ca arcul electric să nu se închidă între faze şi să provoace astfel un scurtcircuit, fiecare contact este izolat într-o cameră dintr-un material izolant şi refractar.

Pentru a favoriza stingerea arcului, fiecare din aceste camere are, uneori, în partea de sus, deasupra contactelor, un grătar format din o serie de lamele de cupru, izolate între ele. Arcul electric, care apare la deschiderea contactelor, este divizat prin aceste lamele într-o serie de arcuri scurte, ceea ce uşurează mult stingerea lui (dacă arcul este în curent alternativ).

Uneori, în interiorul acestor camere se produce un cîmp magnetic cu ajutorul unor bobine parcurse de curenţii care trec prin contactele întreruptorului. Sub acţiunea acestui cîmp magnetic, arcul electric este împins * înspre exterior, este lungit şi astfel este stins mai uşor. Dispozitivul acesta pentru stingerea arcului poartă numele de dispozitiv de „suflaj magnetic". La curenţi mai mari, întreruptorul are contacte auxiliare, care se închid înaintea şi se deschid în urma contactelor principale. Arcul electric se formează deci între contactele auxiliare, protejînd astfel contactele principale contra uzurii.

În aceste cazuri, bobinele pentru suflaj magnetic se leagă în serie cu contactele auxiliare. În figura 12–22, *a* şi *b* sînt reprezentate vederea şi schema electrică a unui întreruptor automat prevăzut cu: contacte principale *1*, contacte auxiliare *2*, bobine de suflaj magnetic *3*, relee maximale de curent *4*, relee minimale de tensiune *5*, dispozitiv de acţionare manuală *6*.

Acest fel de întreruptoare se folosesc la joasă tensiune în curent continuu sau în curent alternativ şi se fabrică pentru curenţi de 200, 350, 400, 600, 1 000 sau 1 500 A şi în mod excepţional pentru 2 000 sau 3 000 A. La noi în ţară ele

---

* Asupra arcului electric, care este un curent electric, apare o forţă electromagnetică (v. Cap. IV.1.)

sînt simbolizate prin DITA-350, ceea ce înseamnă disjunctor* trifazat în aer pentru 350 A.

DITA se construiește pentru curenți pînă la 1 000 A și este prevăzut cu următoarele relee:

—trei relee maximale de curent, electromagnetice, cu acțiune instantanee, montate cîte unul pe fază;

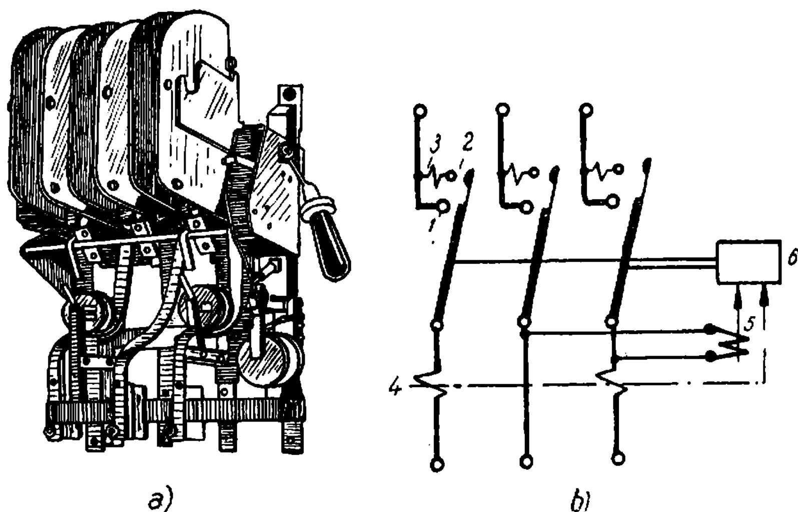


Fig. 12–22. Întreruptor automat în aer:
a — vedere; b — schema electrică.

— două relee electrotermice (cu bimetal), montate numai pe două faze, ca relee primare sau secundare (după mărimea curentului aparatului);

— un releu minimal de tensiune, electromagnetic.

Întreruptoarele în aer se folosesc la instalațiile electrice fixe, fiind montate pe tablouri fie în fața tabloului, fie —mai des —în spatele tablourilor sau în interiorul celulelor (v. mai jos). Cînd este montat pe tablou, întreruptorul, ca orice aparat electric, este închis într-o carcasă, a cărei construcție depinde de mediul exterior (loc uscat, umed, cu praf, cu gaze explozive etc.).

* Disjunctor: denumirea folosită în trecut pentru un întreruptor care se poate deschide automat; cînd întreruptorul se putea închide automat el era numit conjunctor.

Observație. În mod curent, la tablourile din interiorul clădirilor sînt folosite siguranțe numite „siguranțe automate" Acestea sînt mici întreruptoare monopolare în aer, echipate cu un releu maximal de curent și uneori chiar cu un releu electrotermic, reglate din fabrică pentru un anumit curent de funcționare.

Întreruptoare în ulei. Întreruptoarele în ulei sînt montate într-o cuvă cu ulei care este un bun izolant și favorizează stingerea arcului electric. Aceste întreruptoare se folosesc numai la instalații electrice fixe, atît la joasă tensiune, cît și la înaltă tensiune, dar numai în curent alternativ. Ele se construiesc cu volum mare de ulei (cu ulei mult) sau cu volum redus de ulei (cu ulei puțin).

În figura 12—23 este arătată vederea și schema electrică a întreruptorului cu ulei mult de joasă tensiune, cu comandă prin butoane, DITU-25 (disjunctor, trifazat în ulei, 25 A).

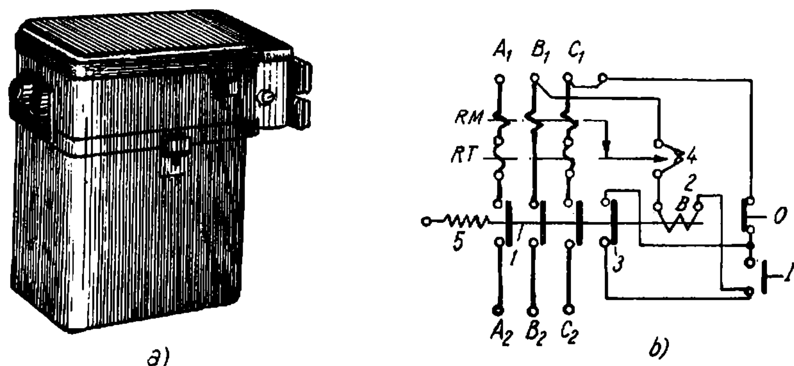


Fig. 12-23. Întreruptor în ulei, de joasă tensiune, cu comanda prin butoane DITU-25:

a — vedere; *b* — schema electrică: *1* — întreruptor; *2* — electromagnet de acționare; *3* — contactul auxiliar (pentru autoreținere); *4* — contactul de lucru al releelor; *5* — resort; *RM* — relee maximale de curent; *RT* — relee electrotermice; $A_1B_1C_1$ — borne de intrare; $A_2B_2C_2$ — borne de ieșire: *I* — butonul pentru închidere; *O* — butonul pentru deschidere.

Întreruptorul este prevăzut cu trei relee maximale de curent *RM* și două relee electrotermice *RT*. Închiderea întreruptorului *1* se face cu ajutorul unui electromagnet de acționare *2*, care joacă și rolul de releu minimal de tensiune.

Închiderea întreruptorului se face apăsînd pe butonul *I*, contact normal deschis; deschiderea se face apăsînd pe butonul *O*, contact normal închis. Astfel, la apăsarea pe butonul *I*, contact normal deschis, electromagnetul de acționare *2* este

pus sub tensiune şi închide întreruptorul (totodată este armat şi un arc *5* sub acţiunea căruia întreruptorul se deschide atunci cînd dispare tensiunea de la bornele electromagnetului de acţionare). La ridicarea degetului de pe butonul *I*, întreruptorul rămîne închis, deşi contactul *I* se deschide. În adevăr, o dată cu închiderea întreruptorului se închide contactul auxiliar *3* (care şuntează contactul normal deschis *I*) şi electromagnetul este alimentat în continuare prin contactul auxiliar *3*; pentru acest motiv, contactul auxiliar *3* se mai numeşte şi contact de autoreţinere.

Deschiderea întreruptorului se face scoţînd de sub tensiune electromagnetul de acţionare, fie în mod voit — prin apăsare pe butonul *O*, contact normal închis, fie automat, prin deschiderea contactului de lucru *4* al releelor, contact comun pentru releele maximale de curent *RM* şi electrotermice *RT* şi se deschide la comanda acestora.

Într-o construcţie mai modernă a fabricii Electroaparataj Bucureşti, la întreruptorul DITU-25 B, închiderea şi deschiderea se fac cu ajutorul unei manete care este rotită spre dreapta (în sensul acelor unui ceas), la închidere şi spre stînga, la deschidere (pe carcasa aparatului, în dreptul manetei sînt marcate corespunzător literele *I* şi *O*). Acest tip este prevăzut şi cu două sau trei bloc-contacte* care permit montarea unor butoane de comandă de la distanţă şi a două lămpi pentru semnalizarea poziţiei întreruptorului.

Întreruptoarele DITU-25 B se construiesc pentru curenţi nominali de 1; 1,5; 2; 3; 5; 7,5; 10; 15; 20; 25 A şi tensiuni de 220; 380; 500 V. Pentru curenţi mai mari, pînă la 100 A şi aceleaşi tensiuni, se construieşte tipul DITU-100.

Pentru tensiuni pînă la 1 000 V şi curenţi pînă la 350 A se construieşte întreruptorul în ulei (CITUC-1) reprezentat în figura 12—24, folosit în industria petroliferă.

Întreruptorul este echipat cu relee maximale de curent *RM* şi relee electrotermice *RT* montate numai pe două faze, ca relee secundare indirecte. De asemenea, întreruptorul este prevăzut şi cu un releu minimal de tensiune *RU*, montat ca releu secundar, direct.

---

* Un aparat poate fi prevăzut în general cu mai multe contacte auxiliare numite şi bloc-contacte, care se mişcă solidar cu contactele principale ale aparatului. Bloc-contactele pot fi normal deschise sau normal închise; prin poziţia normală a bloc-contactelor, se înţelege poziţia corespunzătoare cazului cînd instalaţia este fără tensiune.

Bloc-contactele sînt foarte necesare în schemele de comandă, pentru semnalizarea la distanţă a poziţiei închis sau deschis a aparatului şi, în general, în schemele de automatizare, pentru transmiterea altor comenzi, o dată cu închiderea sau deschiderea întreruptorului.

În figura 12-25 este reprezentată schematic construcţia unui întreruptor trifazat cu ulei mult, de înaltă tensiune (6 kV). Elementele componente principale ale acestui întreruptor sînt: cuva metalică *1*, căptuşită cu material izolant (cuva este împărţită prin pereţi despărţitori în trei compartimente, în fiecare compartiment aşezîndu-se contactele unei faze); capacul *2* care susţine şase izolatoare de trecere *3* fixate cu şuruburile *4*, bornele de la capătul superior al izolatoarelor sînt legate electric cu contactele *5* fixe de la capătul inferior,

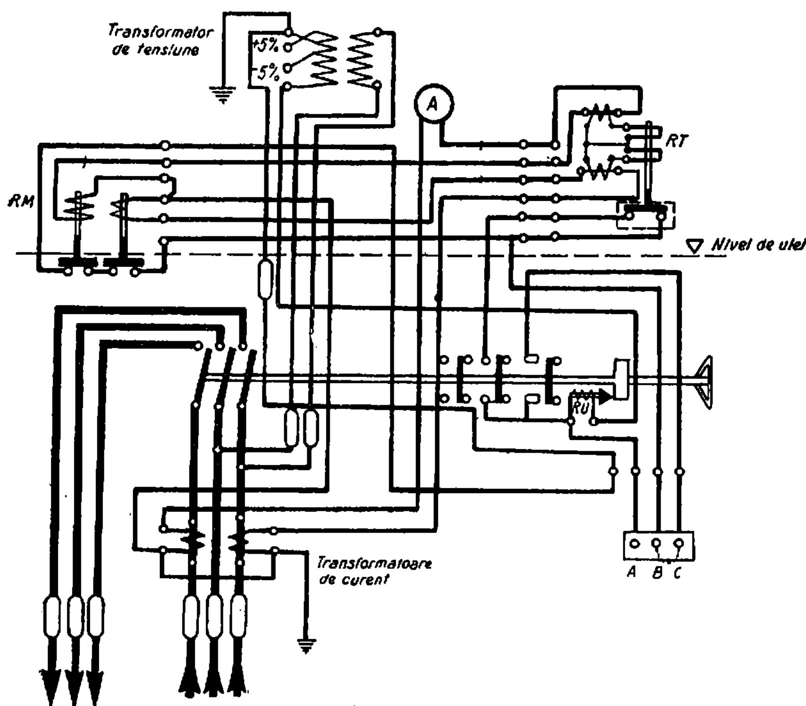


Fig. 12-24. Întreruptor CITUC-1 (pentru tensiuni pînă la 1 000 V, inclusiv).

prin conductoare de cupru care trec prin interiorul izolatoarelor; contactele mobile *6* sînt montate pe o traversă conductoare, acţionată cu ajutorul volanului *9* prin intermediul mecanismului cu pîrghii *7*. O dată cu închiderea contactelor se armează şi nişte arcuri *8*, sub acţiunea cărora se execută mişcarea la deschiderea contactelor, atunci cînd este ridicat un zăvor din broasca *10* a întreruptorului (broasca blochează axul de acţionare *11* în poziţia în care contactele principale *5*, *6* sînt închise).

Cuva întreruptorului se umple cu ulei pînă la un anumit nivel. Robinetul *12* permite luarea probelor de ulei de la fundul cuvei, pentru controlul periodic al uleiului.

După cum reiese din figură, fiecare fază este întreruptă prin două contacte (rupere dublă). La deschiderea contactelor sub sarcină (adică atunci cînd contactele sînt străbătute de curent), apar arcuri electrice. În jurul fiecărui arc se formează o bulă de gaze produse sub acțiunea arcului electric asupra uleiului. Aceste gaze răcesc arcul și îl sting. După stingerea arcului, bula de gaze se ridică la suprafața uleiului, de unde gazele sînt evacuate în atmosferă. Dacă înălțimea de ulei deasupra contactelor este prea mică, gazele fierbinți nu se răcesc sufi-

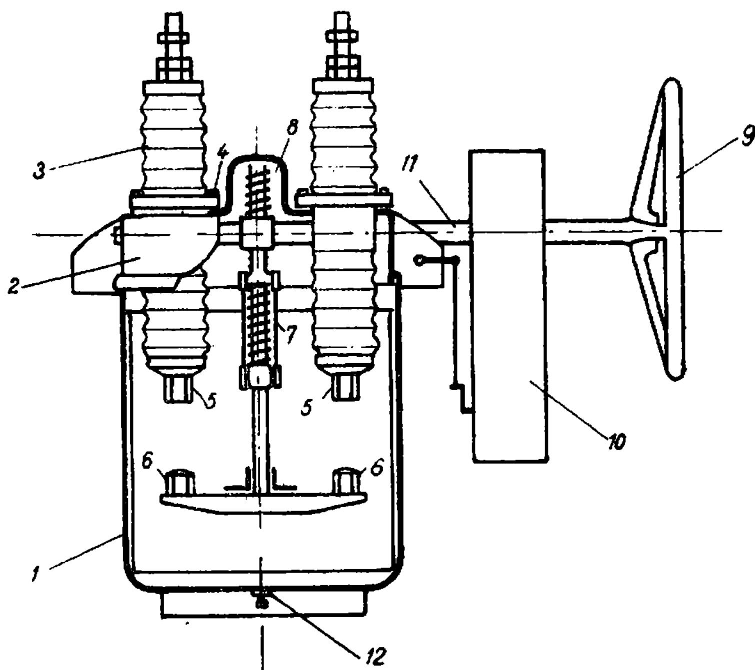


Fig. 12-25. Întreruptor trifazat cu ulei mult, pentru 6 kV (IU-6).

cient și — ieșind la suprafață — se pot aprinde în contact cu aerul; în acest caz se aprinde și uleiul din cuvă, iar întreruptorul face explozie. Dacă nivelul uleiului este prea ridicat, cu alte cuvinte dacă salteaua de aer de sub capac este prea mică, se poate produce crăparea cuvei, deoarece șocul de presiune care se manifestă la apariția bulelor de gaze în jurul arcurilor electrice nu este suficient amortizat de salteaua de aer.

În întreruptoarele cu ulei mult, uleiul servește atît ca mediu de stingere a arcului, cît și ca mediu izolant.

Întreruptoarele cu ulei mult se construiesc pentru tensiuni nominale de 3 kV și 6 kV, la curenți nominali pînă la 600 A și puteri de rupere de 50 MVA și 100 MVA.

Întreruptorul cu ulei puțin. În acest caz, uleiul este folosit numai ca mediu de stingere a arcului.

De aceea, față de un întreruptor cu ulei mult, la un întreruptor cu ulei puțin, greutatea uleiului poate fi redusă pînă la de 25 ori; prin aceasta, întreruptorul devine mult mai puțin voluminos și mai sigur în privința exploziilor și incendiilor.

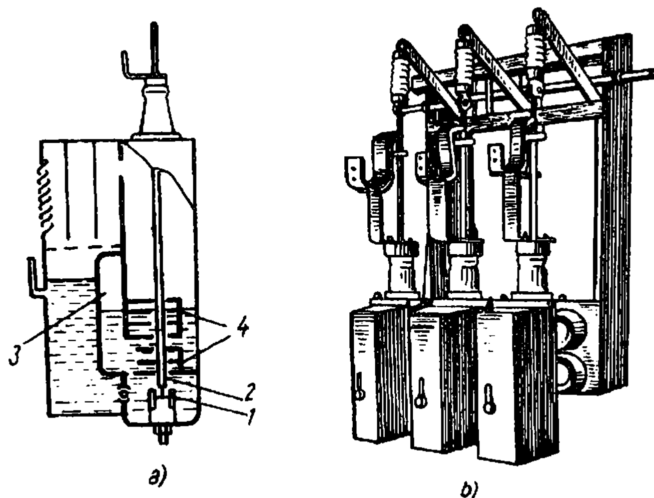


Fig. 12-26. Întreruptor trifazat cu ulei puțin (IUP-10):
a — secțiune prin camera de stingere a arcului; *b* — vedere.

În figura 12-26 este reprezentat un întreruptor trifazat cu ulei puțin (IUP-10), care poate fi folosit la tensiunile de 3, 6 și 10 kV, pentru curenți nominali pînă la 1 000 A.

La deschiderea contactelor *1*—*2* apare arcul electric. Acesta produce o bulă de gaze care comprimă aerul din camera *3*. Pe măsură ce contactul mobil *2* se ridică, el liberează o serie de deschideri prin plăcile izolante *4*, și — ca urmare — începe să se exercite asupra arcului un puternic suflaj transversal de ulei prin care arcul este stins repede. Puterea de rupere a acestor întreruptoare este de 100 MVA la 3 kV, de 200 MVA la 6 kV și de 200 MVA sau 250 MVA la 10 kV.

Întreruptoare cu expansină. Pentru a realiza avantajele întreruptoarelor cu ulei puțin, evitînd însă uleiul care totuși poate să se aprindă, se construiesc întreruptoare cu expansină. Expansina este un amestec de apă, glicerină și alcool, care nu arde

şi nu produce explozii. Expansina se află într-o cameră de stingere aşezată în jurul contactelor principale.

Întreruptoare cu aer comprimat (întreruptoare pneumatice). Întreruptoarele cu aer comprimat folosesc ca mediu de stingere al arcului aerul comprimat care, suflînd asupra arcului electric în momentul deschiderii contactelor, lungeşte şi răceşte arcul pînă cînd îl stinge. Întreruptoarele cu aer comprimat se construiesc pînă la tensiuni de 400 kV; pentru instalaţiile mai mici, ele au dezavantajul că necesită o instalaţie auxiliară specială pentru producerea aerului comprimat.

Întreruptoare cu autoformare de gaze. Pentru a elimina necesitatea unei staţii de aer comprimat, ceea ce reprezintă un neajuns în cadrul instalaţiilor mici, se construiesc întreruptoare la care camera de stingere este căptuşită cu substanţe speciale (răşini, sticlă organică); sub acţiunea arcului, aceste substanţe produc foarte multe gaze care, executînd un suflaj asupra arcului, îl sting. În U.R.S.S. se construiesc astfel de întreruptoare pentru tensiuni pînă la 10 kV şi puteri de rupere de 200 MVA.

Evident, după un număr oarecare de funcţionări (circa 150), substanţele generatoare de gaze sub acţionarea arcului trebuie înlocuite.

b. Separatoare

Separatorul are o construcţie de obicei asemănătoare cu aceea a întreruptorului manual cu pîrghie, cu deosebirea că el nu are niciodată carcasă de protecţie şi foloseşte atît în joasă tensiune, cît, mai ales, în înaltă tensiune. Separatoarele sînt folosite pentru a scoate în mod vizibil de sub tensiune o instalaţie oarecare fără sarcină, care trebuie deconectată pentru diferite scopuri (reparaţii, manevre etc.). Separatorul nu are putere de rupere şi de aceea el nu se manevrează niciodată în sarcină. El trebuie deschis numai după ce, în prealabil, circuitul a fost deschis (întrerupt) cu ajutorul întreruptorului. În caz contrar (deschizînd separatorul sub sarcină), arcul electric care apare între contacte nu se stinge, se întinde şi poate sări la fazele vecine, producînd un scurtcircuit la barele staţiei sau postului de transformare, cu acţiuni foarte dăunătoare (separatorul şi barele pot fi distruse).

În figura 12—27 este reprezentat un separator tripolar de 6 kV.

Separatoarele sînt acţionate cu ajutorul unei prăjini izolante sau cu ajutorul unei manete prin intermediul unui sistem de pîrghii.

La joasă tensiune, drept separator se utilizează întreruptorul cu pîrghie. La unele aparate de joasă tensiune, cum sînt cele în construcție antideflagrantă, separatorul face și funcția de inversor[1].

Separatorul de putere. Pentru instalațiile de putere mică (tensiuni pînă la 10 kV și curenți pînă la 200 A) unde folosirea unui întreruptor pentru întreruperea circuitului sub sarcină și a unui separator pentru întreruperea vizibilă a circuitului este neeconomică, se construiesc separatoare de putere sau separatoare de sarcină. Separatorul de putere este un separator ale cărui contacte sînt echipate cu un dispozitiv pentru stingerea arcului produs de curenți egali cel mult cu curentul nominal (cu substanțe generatoare de gaze); de aceea separatorul de putere poate întrerupe curenți mai mici sau egali cu curentul lui nominal. Pentru întreruperea curenților mai mari decît curentul nominal (suprasarcini, scurtcircuite), în serie cu separatorul de putere se montează siguranțe fuzibile

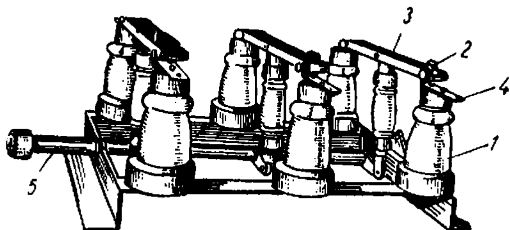


Fig. 12-27. Separator tripolar de 6 kV:
1 — izolator; 2 — contact fix; 3 — contact mobil (cuțit); 4 — borne; 5 — ax pentru acționare.

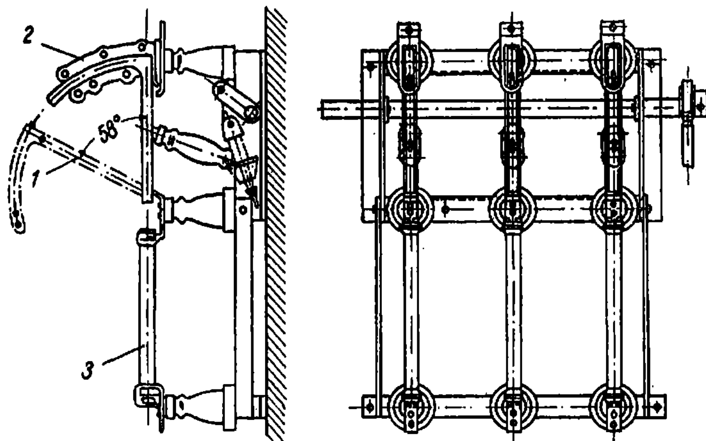


Fig. 12-28. Separator de putere:
1 — contact mobil (cuțit) al separatorului; 2 — dispozitiv pentru stingerea arcului; 3 — siguranță fuzibilă.

(fig. 12-28) care — după cum se știe — întrerup în foarte bune condiții curenții de scurtcircuit. În acest mod, separatorul poate înlocui cu succes întreruptorul, simplificînd și ieftinind instalația respectivă.

[1] Vezi la comutator.

Pentru a simplifica şi mai mult aparatajul montat în exterior pe stîlpi (la derivaţiile din liniile de 6 kV, la posturile de transformare rurale şi la cele folosite în industria petroliferă), este necesar să se dea oarecare capacitate de rupere separatoarelor, în care scop contactele separatorului sînt prevăzute cu coarne.

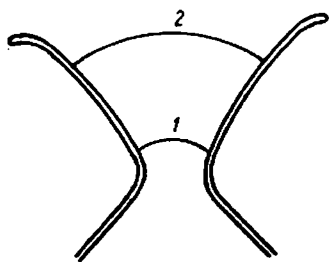


Fig. 12-29. Coarne pentru stingerea arcului electric:
1 — poziţia iniţială a arcului; *2* — poziţia finală a arcului (lungită) în momentul stingerii arcului.

Coarnele unui separator sînt două piese de formă specială, indicată în figura 12—29, una din piese fiind fixată pe contactul fix al separatorului, iar a doua, pe contactul mobil (pe cuţit).

Coarnele preiau arcul electric şi, prin forma şi poziţia lor, lungesc arcul electric şi îl sting. În felul acesta se poate întrerupe fără pericol curentul de mers în gol al transformatorului.

c. Contactoare

Contactorul este un aparat de conectare care închide un circuit electric sub acţiunea unei comenzi dinafară, dar, spre deosebire de întreruptor, el rămîne închis numai atît timp cît se exercită această comandă (la încetarea comenzii contactorul se deschide). Contactorul cel mai des folosit este de tip electromagnetic, construcţia schematică şi schema de principiu a acestuia fiind reprezentate în figura 12–30, *a* şi *b*. El conţine un electromagnet *1* cu o armătură mobilă, pe care este fixat un contact mobil *2*. Cînd armătura este atrasă, contactul mobil *2* vine în contact cu contactul fix *3*, astfel încît se stabileşte un circuit închis prin borna *4*, contactele *2* şi *3*, şi borna *5*.

Pentru închiderea contactorului se apasă pe butonul *I*; prin aceasta, bobina *1* a electromagnetului este pusă sub tensiune şi electromagnetul, atrăgîndu-şi armătura, închide contactele contactorului. Deoarece butonul *I* este un contact „normal deschis" (care stă închis numai atît timp cît se apasă pe buton), ridicînd degetul de pe buton, curentul prin bobină se întrerupe, electromagnetul eliberează armătura şi contactorul se deschide (sub acţiunea unui arc sau numai sub acţiunea greutăţii proprii). În cele mai multe cazuri, butonul *I* este contactul de lucru al

unui releu denumit releu de comandă. În consecință, spre deosebire de întreruptor, care rămîne închis chiar și după ce a încetat acțiunea dispozitivului de acționare, contactorul rămîne închis numai atît timp cît bobina sa de acționare este parcursă de curent electric.

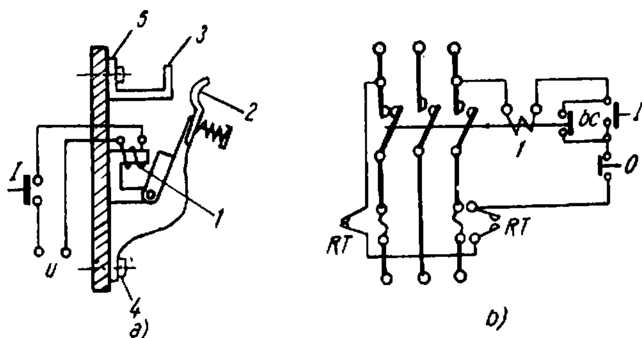


Fig. 12—30. Contactor (electromagnetic):
a — schema de principiu a construcției unui contactor; *b* — schema electrică a unui contactor echipat cu relee termice și prevăzut cu comandă prin butoane (pornitor).

Contactoarele pot fi comandate foarte comod și de la distanță, de obicei cu ajutorul releelor de comandă. Ele se pretează foarte bine la realizarea schemelor de automatizare a instalațiilor. În acest ultim caz, contactoarele se montează împreună cu releele de comandă pe panouri, alcătuind așa-numitele „stații magnetice".

Contactorul este prevăzut în general și cu o serie de contacte auxiliare (bloc-contacte), care sînt acționate solidar cu contactele principale. Bloc-contactele pot fi atît contacte normal deschise, cît și contacte normal închise; la închiderea contactorului, bloc-contactele normal deschise se închid, iar cele normal închise se deschid. Bloc-contactele sînt foarte necesare în schemele de comandă, de semnalizare și de automatizare.

Contactele principale ale contactorului pot fi prevăzute cu dispozitive pentru stingerea arcului (suflaj magnetic, grătar din lamele metalice), astfel încît contactorul poate întrerupe circuite sub sarcină, ca și un întreruptor.

Cînd contactorul este echipat cu relee și este prevăzut a fi comandat prin butoane, el poartă numele de *pornitor** (fig. 12–30, *b*).

---

*) Ținînd seamă de aceasta și de definiția contactorului, rezultă că, riguros vorbind, aparatul DITU-25 (fig. 12–23) conține un contactor în ulei și nu un întreruptor. Aparatul DITU-25 este deci un pornitor în ulei. Totuși, în practica curentă, aparatul DITU-25 este denumit întreruptor.

După cum reiese din figură, pentru ca aparatul să stea închis chiar după ce nu se mai apasă pe butonul *I*, contactele acestui buton sînt șuntate de un bloc-contact *bc* normal deschis al contactorului, ca la întreruptorul DITU-25 (fig. 12–23). Deschiderea pornitorului se poate realiza întrerupînd alimentarea electromagnetului de acționare, fie în mod voit — apăsînd pe butonul *O* (contact normal închis), fie automat — prin deschiderea contactelor de lucru ale releelor electrotermice *RT*. În pornitor, bobina de acționare a contactorului are și rol de releu minimal de tensiune, deci pornitoarele se deschid cînd tensiunea rețelei scade sub 0,7 din tensiunea nominală.

În încheiere, se menționează că butoanele de comandă normal-deschise (de exemplu butonul *I* fig. 12–30, *a*), sînt și ele contactoare, și anume contactoare mecanice.

d. Ruptoare

Ruptorul este un aparat de conectare care deschide un circuit electric sub acțiunea unei comenzi din afară, menținîndu-l deschis numai atît timp cît durează această comandă.

Ruptoarele sînt construite în mod asemănător cu contactoarele, cu deosebirea că la atragerea armăturii electromagnetului de acționare contactele aparatului se deschid. Butoanele de comandă cu contacte normal închise sînt ruptoare mecanice (de exemplu *O*, fig. 12–30, *b*). În practică, ruptorul mecanic se mai întîlnește cu funcțiunea de limitator de cursă la diferite utilaje: cînd este depășită cursa vreunei piese (pod rulant, masa unei raboteze etc.), limitatorul de cursă este apăsat, își deschide contactele, comandînd oprirea instalației.

e. Comutatoare

Comutatoarele (fig. 12–31, *a*) sînt de obicei întreruptoare manuale de construcție specială, cu mai multe poziții, destinate pentru modificarea succesivă a conexiunilor într-o schemă electrică.

Astfel, atunci cînd comutatorul din figura 12–31, denumit comutator cu pîrghii, este închis pe contactele de sus (fig. 12–31, *b*), el alimentează de la rețeaua trifazată receptorul *A*; cînd este închis pe poziția de jos, alimentează de la rețea receptorul *B*, iar cînd este deschis (cu cuțitele în poziție orizontală), întrerupe orice alimentare.

Comutatoarele cele mai des folosite sînt comutatoarele voltmetrice, comutatoarele stea-triunghi, comutatoarele inversoare şi controlerele.

Comutatorul voltmetric permite conectarea unui singur voltmetru pe rînd între diferite puncte, luate două cîte două, ale unor circuite. În felul acesta, cu un singur voltmetru se pot măsura pe rînd tensiunile de fază şi tensiunile de linie ale unei reţele trifazate, aşa cum se arată în figura 12–32.

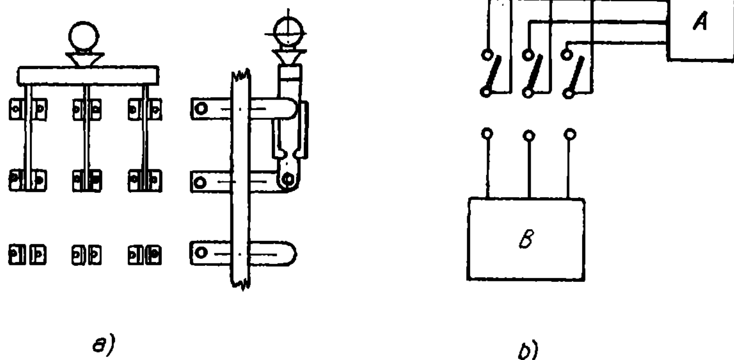


Fig. 12–31. Comutator cu pîrghie.

În acest caz, comutatorul are o serie de borne legate la fazele şi la neutrul reţelei, două contacte *1* şi *2*, legate la bornele voltmetrului şi două contacte alunecătoare *M*, deplasabile simultan prin rotirea unei manete, care fac contact electric între borne şi contactele *1* şi *2*

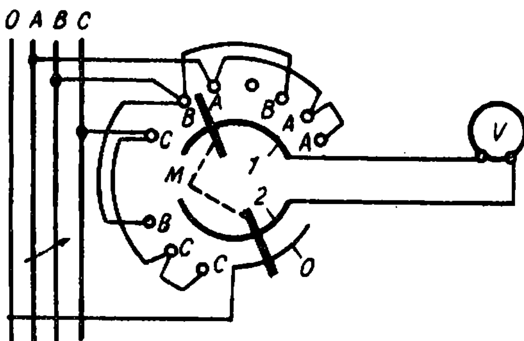


Fig. 12–32. Schema electrică a unui comutator voltmetric şi a conectării lui la o reţea trifazată cu fir neutru.

Comutatorul stea-triunghi (STAS 2738-51) permite o schimbare comodă a conexiunilor receptoarelor trifazate din stea în triunghi; această schim-

bare de conexiuni este folosită practic la pornirea motoarelor asincrone trifazate în scurtcircuit pentru a putea reduce curentul de pornire (așa cum se va arăta în Cap. XIV). Drept comutator stea-triunghi se poate folosi comutatorul cu pîrghie reprezentat în figura 12–31, în montajul indicat în figura 12–33.

Cînd cuțitele comutatorului sînt ridicate, motorul nu este alimentat de la rețea. Cînd comutatorul este închis în jos, fazele motorului sînt legate în stea, motorul pornește cu un curent de pornire mic. Apoi comutatorul se închide în sus; în acest caz, fazele motorului sînt legate în triunghi, poziție în care motorul funcționează în mod normal.

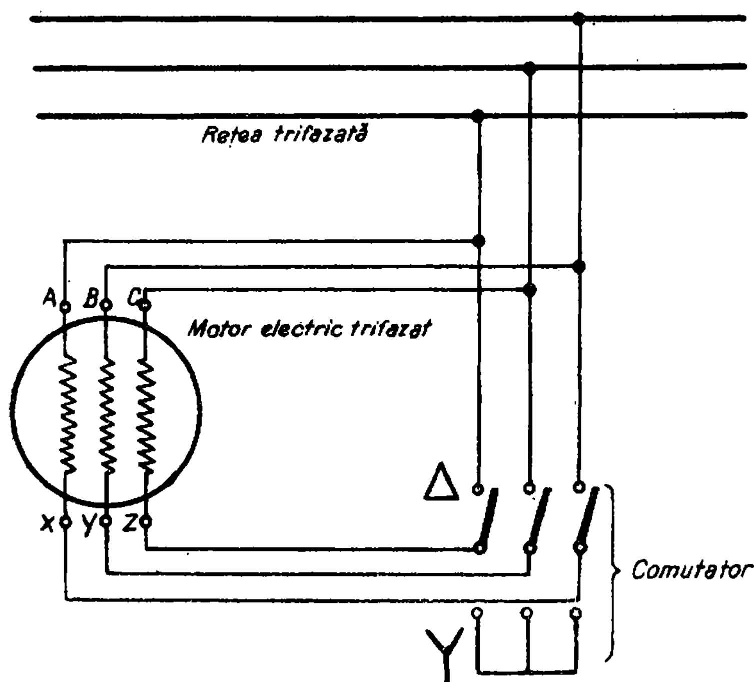


Fig. 12–33. Schimbarea conexiunilor stea-triunghi, cu ajutorul unui comutator cu pîrghie.

Comutatorul descris mai sus are dezavantajul că trecerea din poziția stea în poziția triunghi durează mult. Pentru înlăturarea acestui dezavantaj, se construiesc comutatoare stea-triunghi speciale, care au contactele montate pe un tambur care se rotește. Acest comutator are trei poziții marcate cu semnele *0* (oprit, întrerupt), ⅄ (stea), △ (triunghi). Rotind tamburul în același sens, se trece succesiv prin pozițiile *O*, ⅄, △, *O*, ⅄ etc.

În prezent se construiesc și comutatoare stea-triunghi automate, cu ajutorul unor contactoare; trecerea de la poziția stea la poziția triunghi se realizează automat, la comanda unui releu de timp sau a unui releu de curent. În acest ultim caz, la aparatele moderne se comandă automat și trecerea inversă, de la conexiunea triunghi la conexiunea stea, atunci cînd sarcina motorului a scăzut cu cel puțin $\sqrt{3}$ ori față de sarcina nominală, ceea ce face ca la sarcini mai mici motorul să funcționeze cu conexiune în stea, cu un factor de putere mai bun decît în cazul conexiunii triunghi.

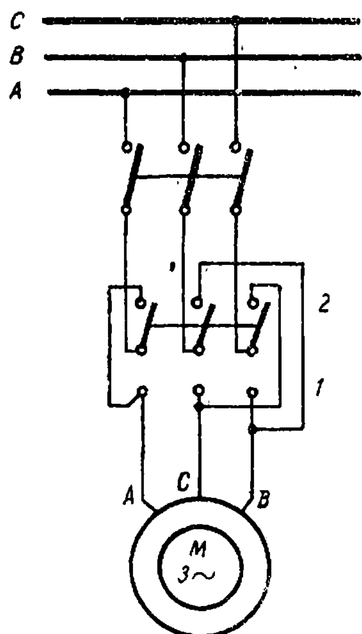


Fig. 12–34. Schimbarea succesiunii fazelor la un motor trifazat cu ajutorul unui comutator.

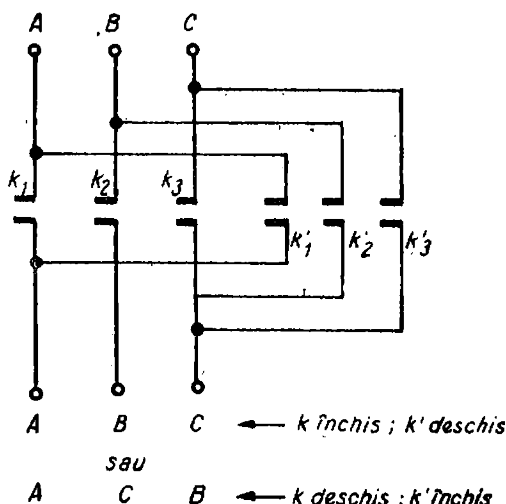


Fig. 12–35. Comutatorul inversor realizat cu două contactoare.

Comutatorul inversor sau, pe scurt, *inversorul*[1] servește la schimbarea conexiunilor la rețea ale unui motor trifazat, în scopul de a-i inversa sensul de mers. Aceste comutatoare se construiesc deseori ca și comutatoarele cu pîrghii tripolare sau bipolare. În figura 12—34 este reprezentată schema schimbării conexiunilor

[1] În literatura tehnică se utilizează uneori și termenul necorespunzător de „reversor".

la un motor trifazat cu ajutorul unui comutator tripolar. Cînd comutatorul este închis în poziția *1*, bornele motorului sînt legate la rețea în ordinea *ABC*, iar cînd comutatorul este închis în poziția *2*, bornele sînt legate la rețea în ordinea *ACB*, ceea ce determină schimbarea sensului de rotație al motorului.

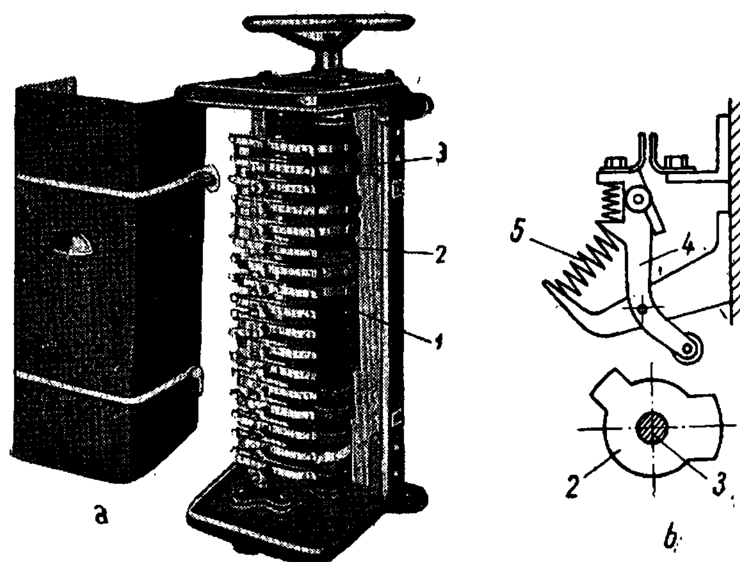


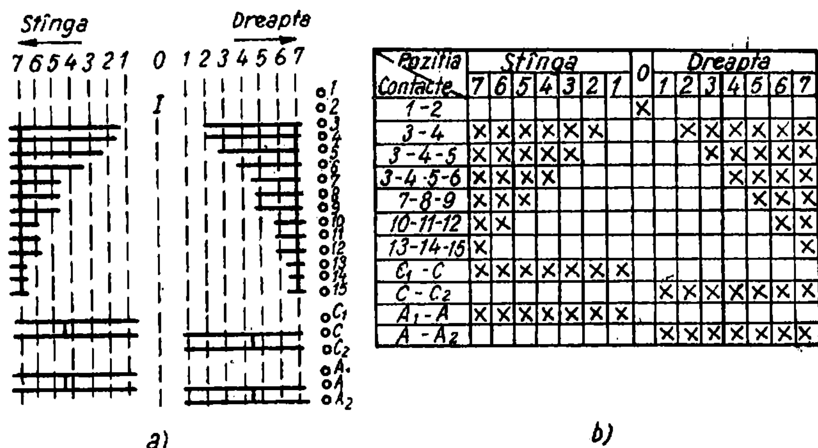
Fig. 12–36. Controler:
a — cu tambur: *1* — contact fix; *2* — tambur; *3* — piese de contact; *b* — cu came: *1* — contact; *2* — camă; *3* — axul camelor; *4* — pîrghie de acționare a contactului; *5* — arc.

În cazul comenzilor automate, inversoarele se realizează cu ajutorul a două contactoare, după cum se arată în figura 12—35. Cînd se închid contactele k_1, k_2, k_3 ale contactorului k, motorul are un sens de mers, iar cînd se închid contactele k_1', k_2', k_3' ale contactorului k', motorul are sens de mers invers.

Controlere. Acestea sînt comutatoare cu scheme complexe, utilizate în circuite de pornire, de reglaj sau de comandă. Controlerul are un număr mai mare de poziții și de contacte fixe *1*, care se închid sau se deschid prin intermediul unui tambur *2*, pe care sînt așezate o serie de piese de contact *3* (controler cu tambur, fig. 12—36, *a*) sau prin intermediul unor came așezate pe un ax (controler cu came, fig. 12—36, *b*).

Conexiunile pe care le poate face un controler se reprezintă fie prin reprezentarea desfăşurată a bornelor legate la contactele fixe şi a pieselor de contact de pe tambur (fig. 12—37,*a*), fie printr-un tablou în care printr-o cruce sau un punct se indică contactele închise la o anumită poziţie a controlerului (fig. 12—37,*b*).

Controlerul are o serie de borne (legate la contactele fixe) notate de exemplu *1,2,3,4, ..., 15*, C_1, C, C_2, A_1, A, A_2. Pe poziţia *0* a controlerului borna *1* vine



Poziţia / Contacte	Stînga 7	6	5	4	3	2	1	0	Dreapta 1	2	3	4	5	6	7
1-2								X							
3-4	X	X	X	X	X	X				X	X	X	X	X	X
3-4-5	X	X	X	X	X						X	X	X	X	X
3-4-5-6	X	X	X	X								X	X	X	X
7-8-9	X	X	X										X	X	X
10-11-12	X	X												X	X
13-14-15	X														X
C_1-C	X	X	X	X	X	X	X								
C-C_2									X	X	X	X	X	X	X
A_1-A	X	X	X	X	X	X	X								
A-A_2									X	X	X	X	X	X	X

Fig. 12—37. Reprezentarea conexiunilor efectuate de un controler:
a — schemă desfăşurată a contactelor; *b* — tabloul contactelor.

în contact cu o piesă de contact scurtă a tamburului, borna *2* în contact de asemenea cu o altă piesă de contact scurtă, cele două piese de contact fiind în legătură electrică: rezultă că pe poziţia *0* sînt aduse în contact bornele *1* şi *2* ale controlerului, lucru marcat cu o steluţă în reprezentarea din figura 12–37, *b*. În mod analog se citesc şi celelalte conexiuni efectuate de controler: de exemplu, pe poziţiile *1, 2, 3, 4, 5, 6, 7* stînga, bornele C_1 şi C vin în contact cu două piese de contact legate împreună, deci pe aceste poziţii C_1 şi C sînt în contact, lucru de asemenea indicat prin steluţe pe figura 12—37, *b*.

Controlerele sînt folosite la pornirea, oprirea, inversarea sensului de mers şi la reglajul vitezei motoarelor diferitelor utilaje (tramvaie, locomotive electrice, sonde acţionate electric, trolii, poduri rulante, macarale etc.).

f. Priza de curent cu fişe

Priza de curent cu fişe este un aparat de conectare, destinat a lega două instalaţii electrice, una fixă şi alta mobilă sau două instalaţii mobile, permiţînd — ori de cîte ori este nevoie —

conectarea şi deconectarea lor. Cînd ambele instalaţii sînt mobile, priza cu fişe se mai numeşte şi *conector*. Priza de curent cu fişe efectuează conectarea prin simpla introducere a unor piese de contact asamblate într-o piesă numită fişă, în alte piese de contact asamblate în altă piesă, numită priză.

Priza este organul terminal al unei reţele electrice; în mod normal, ea are deci tensiune. Fişa este organul care, introdus în priză, primeşte energia electrică de la reţea; în consecinţă, cînd fişa este scoasă din priză, ea nu are tensiune. Prizele cu fişe se construiesc pentru tensiuni pînă la 500 V şi curent de 6, 10, 25 şi 60 A. În figura 12—38, *a* este reprezentată o priză cu fişe tripolare, în bachelită, iar în figura 12—38, *b* o priză cu fişe, capsulată în fontă.

a) b)

Fig. 12-38. Prize de curent cu fişe: *a* — execuţie normală, în bachelită; *b* — execuţie capsulată în fontă.

Uneori prizele sînt prevăzute şi cu contact suplimentar de punere la pămînt a anumitor părţi din instalaţie[1]. În acest caz, contactul de punere la pămînt trebuie să se închidă înaintea contactelor principale (prin care circulă curentul) şi să se deschidă în urma lor.

g. Aparataj mărunt

O categorie distinctă de aparataj electric o formează aparatajul folosit la instalaţiile interioare din clădiri industriale şi de locuit, pentru circuitele de iluminat şi de utilizări casnice ale energiei electrice; acest aparataj, denumit aparataj mărunt,

[1] Vezi capitolul XXII.

se construiește pentru tensiuni pînă la 500 V și curenți de 6, 10 sau 25 A, conform STAS 2000-51.

În această grupă intră întreruptoare, comutatoare, prize, fișe pentru prize (denumite în comerț ștechere) etc. În funcție

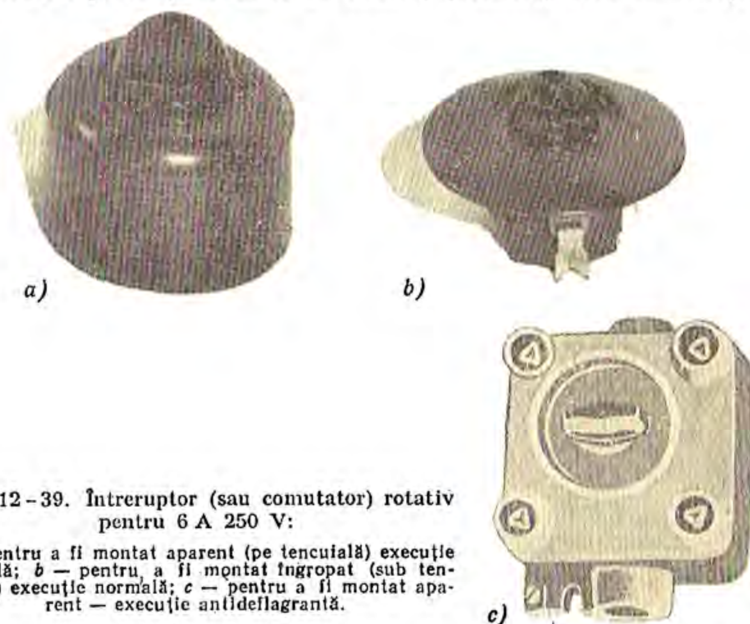


Fig. 12-39. Întreruptor (sau comutator) rotativ pentru 6 A 250 V:

a — pentru a fi montat aparent (pe tencuială) execuție normală; b — pentru a fi montat îngropat (sub tencuială) execuție normală; c — pentru a fi montat aparent — execuție antideflagrantă.

de condițiile mediului unde funcționează, acest aparataj poate fi construit ca aparataj normal, etanș, antideflagrant, rezistent la căldură etc. După modul cum este montat, el poate fi aparataj prevăzut pentru a fi montat îngropat (sub tencuială), aparataj pentru a fi montat aparent (pe tencuială), aparataj pentru a fi montat pe tablou sau aparataj pentru a fi montat pe alte aparate (fier de călcat, aspirator, plite electrice, fierbătoare etc.).

În figura 12-39 se arată, ca exemplu, aspectul unui întreruptor sau comutator rotativ (comutatorul are mai multe poziții decît întreruptorul și de aceea poate fi folosit la conectarea pe rînd a mai multor lămpi ale unei încăperi).

În afară de tipul de întreruptor rotativ, se folosește în mod curent și tipul basculant la care închiderea și deschiderea se fac prin împingerea într-o parte sau în alta (prin bascularea) a unei pîrghii.

h. Aparataj antideflagrant

Un specific deosebit prezintă de asemenea aparatele în execuţie antideflagrantă, utilizate în locurile cu pericol de explozie. Aceste aparate închid într-o carcasă antideflagrantă, un complex de alte aparate ca, de exemplu, separator, un contactor, siguranţe fuzibile, relee etc. Pe lîngă aceasta, diferitele comenzi sînt prevăzute cu o serie de blocaje electrice şi mecanice care împiedică efectuarea unor manevre greşite şi nu permit deschiderea carcasei decît după ce au fost scoase mai întîi de sub tensiune piesele care la deschiderea carcasei ar putea fi atinse cu mîna; în felul acesta se evită accidentele de electrocutare, iar aparatul îşi păstrează calitatea de antideflagrant, chiar cînd carcasa lui este deschisă pentru o revizie periodică, de exemplu, chiar în mediul cu pericol de explozie.

Aparatele în execuţie antideflagrantă pot fi şi ele comandate manual sau automat, prin butoane.

Pentru a exemplifica cele arătate mai sus, în figura 12-40 sînt reprezentate schema electrică şi blocajele unui pornitor inversor pentru comanda motoarelor electrice, antideflagrant, cu comanda prin butoane (fabricat în R.P.R).

Aparatul conţine: o cutie de borne de trecere *1* cu două piese speciale *2*, denumite intrări pentru cablul electric de forţă şi o intrare *3*, pentru cablul de semnalizare (intrarea de cablu asigură etanşarea pătrunderii cablului în cutia de borne şi fixează cablul astfel încît eforturile mecanice de tracţiune asupra cablului să nu se transmită asupra legăturilor electrice la borne); un separator inversor *4*; două relee electrotermice *RT*; trei relee maximale de curent *RM*; un contactor *C* electromagnetic (de aceea aparatului i se mai spune „pornitor magnetic"); un transformator *T* pentru alimentarea circuitului de comandă şi de semnalizare la tensiunea de 24 V. Toate aceste aparate sînt montate pe un panou (separatorul fiind montat în spatele panoului) şi împreună sînt închise într-o carcasă antideflagrantă *6*, pe care se află butoanele de comandă *I* (închis, *O* (deschis), *R* (buton pentru revenirea releelor, adică readucerea lor în poziţia de funcţionare), maneta *5*, pentru acţionarea manuală a separatorului inversor. Cutia de borne *7* are o intrare de cablu, pentru cablul de alimentare a motorului şi o intrare de cablu pentru cablul de comandă de la distanţă prin butoanele *I'* şi *O'*. Carcasa este montată pe o sanie pentru a fi uşor transportată şi este prevăzută cu un şurub pentru punerea la pămînt[1].

Schema electrică reprezentată în figura 12—40, *a* este o schemă denumită „schemă desfăşurată" pe care diferitele elemente ale unui aparat sînt plasate acolo unde este necesar pentru ca funcţionarea schemei să reiasă cît mai clar, fără a ţine seamă de poziţia reală a diferitelor organe ale aparatului unul faţă de altul în cuprinsul aparatului. Pentru a demonstra simplitatea, claritatea, şi deci necesitatea unor astfel de scheme la analiza funcţionării unei instalaţii electrice, în figura 12—40, *b* se arată, pentru comparaţie, schema electrică principială de montaj (a aceluiaşi aparat) care caută să respecte poziţia şi unitatea constructivă a diferitelor lui elemente componente.

---

[1] Vezi capitolul XXII.

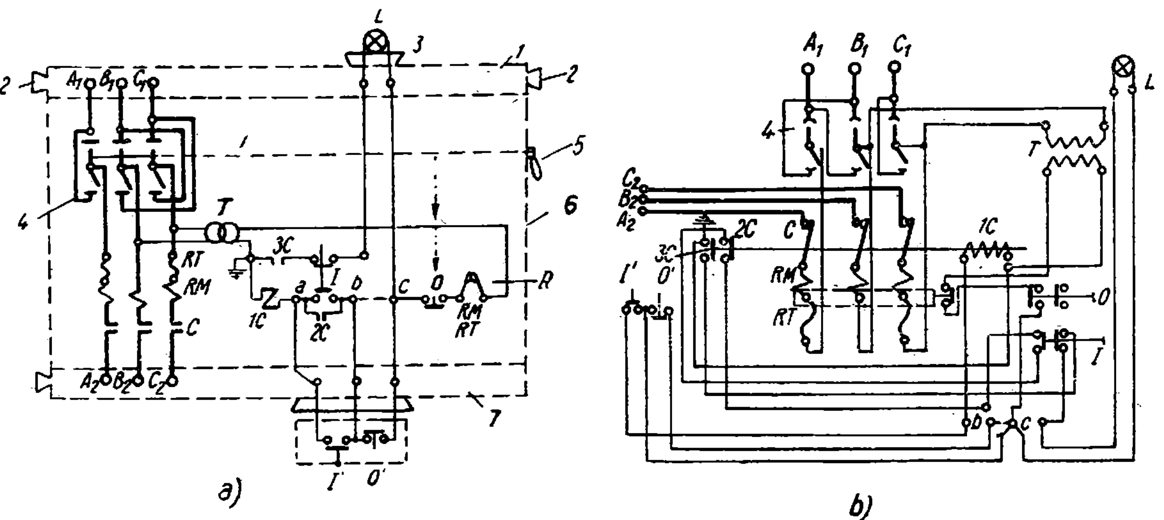


Fig. 12–40. Pornitor inversor, cu comandă prin butoane, antideflagrant:
a — schema electrică desfășurată; *b* — schema principială de montaj.

Pentru ca schema desfăşurată să fie uşor de interpretat, este absolut necesar să se respecte cu stricteţe o notaţie cît mai clară a elementelor. Astfel, toate elementele care aparţin aceluiaşi organ vor fi notate cu aceeaşi literă sau litere, diferenţiindu-se prin indici numerici. Astfel, contactorul *C* are bobina de acţionare *1C* şi bloc-contactele *2C* şi *3C*, iar releele *RM* şi *RT* au drept contact de lucru contactul (*RM*, *RT*).

Pentru a închide contactorul, se apasă pe butonul *I* sau *I'* (în cazul comenzii de la distanţă); bobina *1C* a electromagnetului de acţionare al contactorului, fiind străbătută de curent, închide contactorul; o dată cu închiderea contactorului se închid şi bloc-contactele sale *2C* şi *3C*; ca urmare, contactorul rămîne închis chiar dacă se ridică degetul de pe buton, iar lampa *L*, aprinzîndu-se, semnalizează la distanţă lîngă butoanele *I'* şi *O'* închiderea contactorului. Deschiderea contactorului se face voit, apăsînd pe *O* sau pe *O'*. Pentru ca la apăsarea pe butonul *O'* să se deschidă contactorul, trebuie să se scoată din aparat puntea de legătură *bc* (fig. 12—40); această punte trebuie montată pentru a putea comanda aparatul atunci cînd nu se montează butoanele *I'* şi *O'*.

Deschiderea aparatului se poate face şi automat, prin funcţionarea releelor *RM* şi *RT*. În acest caz, pentru a putea reînchide contactorul trebuie să se apese pe butonul *R* de revenire a releelor.

Aparatul are următoarele blocaje: separatorul nu poate fi manevrat decît dacă se apasă pe butonul *O*, adică numai după ce se deschide mai întîi contactorul (separatorul nu trebuie manevrat în sarcină).

Capacul carcasei nu poate fi desfăcut decît după ce separatorul este blocat în poziţia deschis (o dată capacul desfăcut, separatorul, aşa cum s-a arătat, are rolul unui separator de izolare, prin faptul că scoate de sub tensiune piesele care ar putea fi atinse).

La închiderea carcasei, separatorul poate fi deblocat numai după ce capacul ei a fost închis în poziţie corectă.

5. Aparate de reglare

Aparatele cele mai des folosite ca aparate de reglare sînt reostatele, care, după rolul lor, pot fi: reostate de pornire, reostate de reglare (pentru reglarea tensiunii generatoarelor sau a turaţiei motoarelor) şi reostate de pornire şi reglare (care asigură, prin aceeaşi construcţie, atît pornirea, cît şi reglarea vitezei unui motor).

Reostatele sînt construite cel mai frecvent cu rezistenţe metalice şi, mai rar, cu rezistenţe lichide.

Rezistenţele metalice se construiesc din sîrmă rotundă sau din panglică de nichelină, constantan etc., răsucită în elice; această sîrmă sau panglică este înfăşurată pe un cadru izolat sau pe un cilindru de porţelan.

Rezistenţele metalice se construiesc şi din fontă (fig. 12–41, *a*), asamblate în cutii de rezistenţă (fig. 12–41, *b*).

Pentru a forma un reostat, cutiile de rezistență sînt asociate cu un comutator sau un controler, într-o construcție comună. Uneori, mai ales la reostatele mari, controlerul este separat de grupul de rezistențe; astfel de situații se întîlnesc la acționarea electrică a sondelor, a mașinilor de extracție și a troliilor miniere, la tramvaie etc.

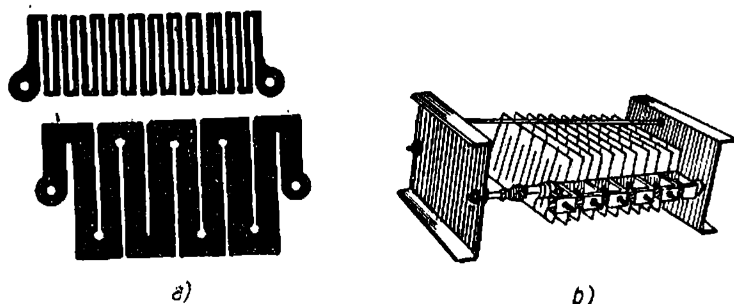


Fig. 12-41. Rezistențe din fontă:
a — elemente de rezistență din fontă; *b* — cutie de rezistențe din fontă.

În figura 12—42 sînt reprezentate schema electrică a unui reostat de pornire pentru un motor de curent continuu (fig. 12—42,*a*) și schema unui reostat de pornire pentru un motor asincron trifazat cu inele (fig. 12—42,*b*).

Uneori, în schemele automate, rezistențele reostatelor de reglaj ale motoarelor sînt variate prin scurtcircuitarea diferitelor trepte ale rezistenței reostatului, cu ajutorul contactoarelor unei stații magnetice, după cum se arată în figura 12—43. Cînd toate contactoarele sînt deschise, circuitul rezistențelor este deschis; prin rezistențe nu poate circula curent electric. Cînd se închide contactorul K_1, reostatul are pe fiecare fază rezistențele R_1, R_2, R_3 montate în serie și legate în stea. Cînd se închide contactorul K_2 se scurtcircuitează rezistența R_3 și reostatul rămîne pe fiecare fază cu rezistența $R_1 + R_2$. Cînd se închide contactorul K_3, rezistența pe fază se reduce la R_1, iar cînd se închide contactorul K_4, reostatul este în întregime scurtcircuitat.

Reostatele de pornire sînt dimensionate de obicei pentru a sta sub curent un timp limitat (cît durata pornirii mașinii).

De aceea, în funcţionare normală, ele nu trebuie să rămînă în circuit, deoarece prin încălzire se distrug. Reostatele de reglare rămîn mult timp sub curent şi sînt dimensionate special în acest scop.

Reostatele cu rezistenţă lichidă sînt folosite ca reostate de pornire la motoarele asincrone cu inele şi, uneori, ca reostate de sarcină pe care debitează generatoarele electrice în timpul încercărilor pentru verificarea caracteristicilor lor.

Variaţia rezistenţei se obţine prin scufundarea a trei electrozi metalici de o formă anumită, într-un rezervor plin cu un lichid.

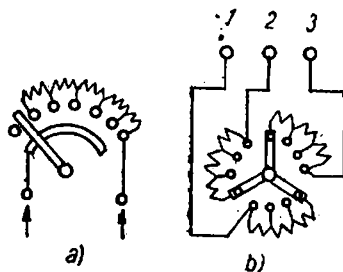


Fig. 12-42. Reostate de pornire: a — pentru motoare de curent continuu; b — pentru motoare asincrone trifazate cu inele.

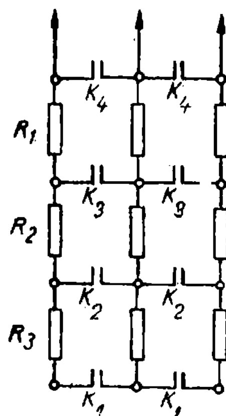


Fig. 12-43. Schema variaţiei rezistenţei unui reostat, cu ajutorul contactoarelor.

Lichidul folosit este apă sau o soluţie de carbonat de sodiu (sodă) în apă.

Electrozii pot fi scufundaţi într-un rezervor comun sau fiecare electrod într-un rezervor individual. La sfîrşitul cursei de scufundare (cînd rezistenţa are valoarea minimă), cei trei electrozi sînt scurtcircuitaţi între ei prin nişte contacte.

La alte construcţii, electrozii sînt ficşi, iar variaţia rezistenţei se obţine prin ridicarea sau coborîrea rezervorului cu lichid sau prin variaţia nivelului lichidului în rezervor. Reostatele cu lichid sînt ieftine, simple, iar la puteri mari, au dimensiuni reduse în comparaţie cu reostatele metalice; ele au însă dezavantajul că în funcţionare produc vapori de apă şi necesită o întreţinere mai atentă.

6. Cutii de distribuție

Prin punct sau post de distribuție se înțelege o instalație care primește energie electrică de la centrala electrică sau de la o rețea de distribuție și o distribuie la aceeași tensiune diferitelor receptoare; în consecință, la punctul de distribuție sau postul de distribuție sosesc una sau mai multe linii pe care vine

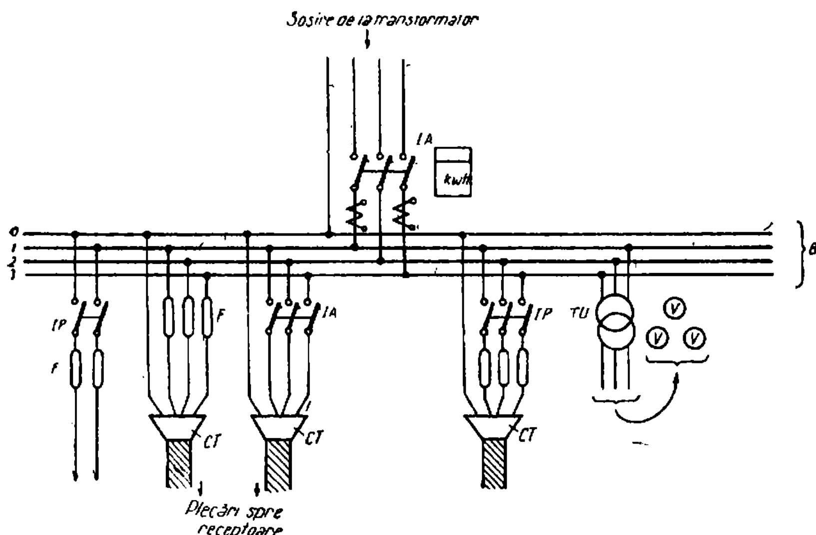


Fig. 12–44. Schema de principiu a unui tablou de distribuție:
IA — întreruptor automat; *IP* — întreruptor cu pîrghie; *F* — siguranțe fuzibile; *CT* — cutie terminală de cablu; *TU* — transformator de tensiune; *V* — voltmetre; kWh — contor de energie activă; *B* — bare colectoare.

energia electrică, numite linii de intrare sau intrări și pleacă mai multe linii, numite plecări, prin care se distribuie energia diferitelor receptoare (fig. 12–44).

Legătura electrică între intrare și plecări se face cu ajutorul unor conductoare de cupru sau aluminiu, numite bare colectoare. La aceste bare sînt legate atît intrările, cît și plecările.

Pe fiecare intrare și plecare sînt montate:

— aparate de conectare (întreruptoare, separatoare), care permit punerea sau scoaterea instalațiilor de sub tensiune;

— aparate de protecție;

— aparate de măsurat (voltmetre, ampermetre, wattmetre, contoare).

Bineînțeles, în funcție de importanța intrării sau a plecării respective, o parte din aparatajul amintit mai sus poate lipsi.

La puteri mai mici, aparatajul unui punct de distribuție se montează pe panouri, numite tablouri de distribuție, cum sînt, de exemplu, tablourile de distribuție în clădirile de locuit.

În întreprinderile industriale sau în spațiile în care există praf, umezeală, gaze explozibile, aparatajul punctelor de distribuție trebuie să fie închis în cutii cu construcție capsulată sau antideflagrantă, numite cutii de distribuție (sau de conexiune).

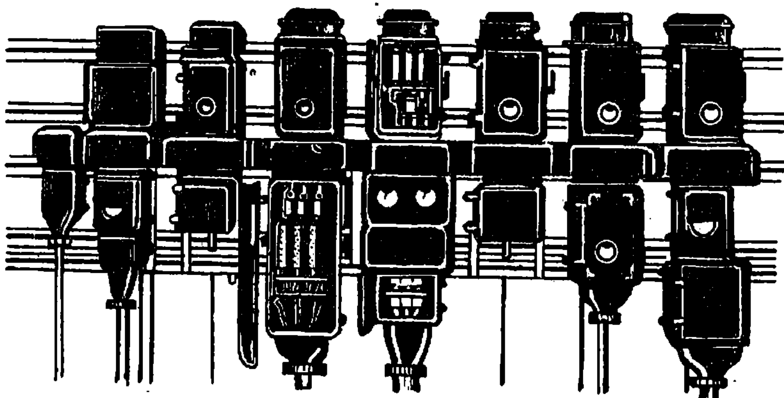


Fig. 12–45. Tablou capsulat de joasă tensiune.

În funcție de aparatele conținute, cutiile de distribuție pot fi cutii cu bare colectoare, cutii cu siguranțe, cutii cu întreruptoare (cu pîrghie sau automate — în aer sau în ulei), cutii cu aparate de măsurat, cutii terminale de cablu etc. Aceste cutii se pot îmbina între ele, realizîndu-se în mod simplu și repede tablouri de distribuție de joasă tensiune în construcție capsulată (fig. 12–45) sau în construcție antideflagrantă.

7. Celule de înaltă tensiune

Celulele de înaltă tensiune se folosesc la construcția instalațiilor de distribuție de înaltă tensiune, pentru a realiza diferitele circuite de sosire și de plecare a energiei electrice, din stațiile și posturile de transformare. Celulele cuprind într-o construcție prefabricată din oțel, aparatajul de conectare, de protecție și

de măsurat, necesar pe o plecare sau pe o sosire. Uneori, transformatoarele de tensiune pentru alimentarea aparatelor de măsurat şi de protecţie sînt montate într-o celulă specială, numită celula de măsurare.

De asemenea celulele mai pot fi folosite şi la comanda şi protecţia receptoarelor de înaltă tensiune cum sînt, de exemplu, motorul pentru acţionarea unui compresor sau a unei pompe.

În trecut, celulele se zideau întîi şi se echipau apoi cu utilajul necesar; astăzi se folosesc pe scară foarte largă celulele de înaltă tensiune prefabricate. În figura 12—46,*a* este reprezentată o secţiune schematică a celulei de înaltă tensiune de 6 kV (CITUC-6) fabricată în ţara noastră; în figura 12—46,*b* se arată schema electrică a aceleiaşi celule.

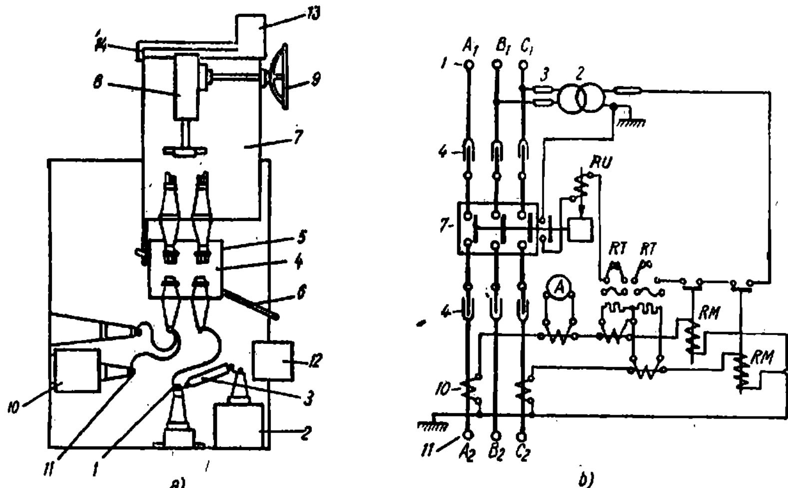


Fig. 12-46. Celulă de înaltă tensiune pentru 6 kV, prefabricată CITUC-6: *a* — secţiune schematică; *b* — schema electrică.

Celula CITUC-6 cuprinde: bornele de intrare *1*; transformatorul de tensiune *2*, pentru alimentarea releului de tensiune minimă *RU*; siguranţe tubulare de înaltă tensiune *3*, pentru protecţia transformatorului de tensiune; separatorul în ulei *4*, care se manevrează ridicînd sau coborînd cuva de ulei *5*, cu ajutorul pîrghiei *6*; întreruptorul cu ulei mult *7*, acţionat prin dispozitivul *8* şi volanul *9*; transformatoarele de curent *10*, pentru alimentarea releelor maximale de curent *RM* (cu acţiune instantanee), a releelor electrotermice *RT* (cu încălzire indirectă) şi a ampermetrului *A*; releele sînt aşezate în carcasa *12*, iar ampermetrul în carcasa *13*; ieşirea din celulă se face prin bornele *11*; gazele produse de funcţionarea întreruptorului sînt evacuate prin deschiderea *14*.

Între separator, întreruptor şi uşa celulei există blocaje de genul celor amintite la pornitorul antideflagrant.

Celula CITUC-6 s-a construit pentru exploatările petrolifere, pentru curenţi pînă la 350 A. Puterea de rupere a întreruptorului este de 42 MVA la 6 kV şi de 21 MVA la 3 kV. Ea se foloseşte la comanda şi protecţia motoarelor de înaltă tensiune sau ca celulă de intrare la un post de transformare cu un singur transformator. Construcţia ei nu este antideflagrantă, ci cu siguranţă mărită, adică nu produce scîntei în funcţionare normală, are izolaţie de calitate mai bună, încălzirile de regim sînt mai mici decît la aparatele obişnuite etc.

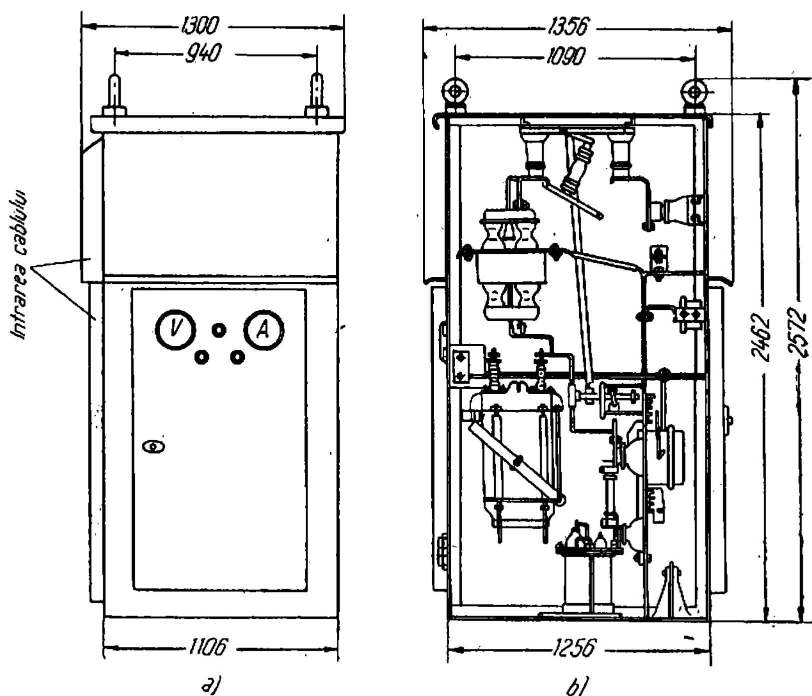


Fig. 12-47. Celulă prefabricată, pentru 6 kV (secţiune schematică), CPIT-6 pentru instalaţii electrice exterioare.

În figura 12–47 este reprezentată secţiunea schematică a unei celule CPIT-6, folosite pentru instalaţii exterioare obişnuite.

În cazul circuitelor mai puțin importante și de putere mai mică, construcția celulei este simplificată; alteori celula este construită special ca celulă pentru măsurarea tensiunii (în acest caz, în eà se montează transformatoarele de măsurat, de tensiune).

Într-o instalație de distribuție cu mai multe celule, celulele sînt legate între ele prin intermediul bărelor colectoare care sînt comune.

În mod asemănător, se folosesc uneori celule prefabricate și la instalațiile de distribuție de joasă tensiune, pentru tablourile de distribuție, pentru comanda și protecția generatoarelor microcentralelor sau pentru comanda și protecția motoarelor de putere mare.

8. Aparate pentru limitarea curenților de scurtcircuit

Ca aparate pentru limitarea curenților sînt folosite reactoarele (bobinele de reactanță). Reactorul trifazat este alcătuit din trei bobine fără miez de fier, fixate pe izolatoare suport. Ele au o rezistență activă neglijabilă în comparație cu reactanța lor inductivă. Fiind montate în serie pe o rețea trifazată, ele măresc reactanța liniei și, prin aceasta, micșorează curenții de scurtcircuit; ca urmare, în instalația respectivă se poate folosi un aparataj mai ieftin și mai simplu, calculat pentru curenți de scurtcircuit mai mici. În felul acesta se pot realiza economii importante în investițiile pentru întreruptoare, cablu, bare colectoare etc.; în același timp, siguranța în exploatare crește.

Rezistența activă a bobinelor reactorului fiind neglijabilă, reactorul nu absoarbe puterea activă în funcționare.

9. Montare, exploatare, întreținere

La montarea, exploatarea și întreținerea diferitelor aparate trebuie să se țină seama de instrucțiunile fabricilor constructoare, de normele și de regulamentele în vigoare. Ca reguli generale pot fi enunțate următoarele:

— aparatele trebuie transportate totdeauna cu grijă, evitîndu-se trîntirea și zdruncinarea lor; păstrarea aparatelor trebuie să se asigure în locuri uscate și bine acoperite;

— la montarea unui aparat trebuie să se respecte poziția normală de funcționare a aparatului, iar conexiunile să se efectueze corect, conform schemei electrice.

Orice aparat trebuie să fie supus la o serie de verificări, pentru a preveni posibilitatea unei utilizări sau a unei funcționări necorespunzătoare; astfel se verifică dacă datele de pe plăcuța indicatoare a aparatului corespund cu caracteristicile mașinii sau ale locului unde va fi montat; se constată prezența tuturor elementelor aparatului (contacte, relee, siguranțe, punți de legătură, bloc-contacte, șuruburi pentru borne, camere de stingere a arcului etc.) și starea lor de bună funcționare (dacă este necesar, acestea se curăță și se reglează corespunzător).

Se măsoară rezistența de izolație, care trebuie să fie superioară sau cel puțin egală cu limitele inferioare indicate în norme (0,25 ... 0,5 MΩ — după specificul instalației); la aparatele cu ulei, se verifică rigiditatea dielectrică a uleiului, care trebuie să fie de cel puțin 125 kV/cm la 40°C;

— în exploatare, aparatele trebuie manevrate cu grijă, conform instrucțiunilor, evitîndu-se suprasolicitarea lor;

— pentru a garanta o bună funcționare în timp și a înlătura posibilitatea apariției pe neașteptate a unor defecte, urmate de opriri ale instalației și de timpi morți în producție, trebuie să se efectueze periodic o revizie și o întreținere preventivă a aparatelor, conform instrucțiunilor specifice locului de utilizare a aparatului; în general, cu această ocazie se verifică uzura și starea suprafeței contactelor; dacă pe suprafața contactelor au apărut broboane mici de metal (contactele s-au perlat), ele se curăță și se rectifică cu ajutorul unei pile. Nu se admit curățirea contactelor cu hîrtie abrazivă și nici ungerea lor cu vaselină (particulele de abraziv care rămîn pe contacte și vaselina arsă din cauza arcului electric măresc rezistența de trecere a contactelor pînă la 10—20 de ori, ceea ce poate duce la încălziri anormale ale contactelor în funcționare).

Se verifică întrefierul electromagneților (mărimea lui, curățenia suprafețelor); se constată dacă spirele în scurtcircuit, montate pe o parte din secțiunea polilor electromagneților, sînt întregi și la locul lor. Se verifică camerele de stingere a arcului. Se verifică reglajul releelor. Se verifică dacă șuruburile aparatului sînt strînse. Se constată funcționarea ușoară, din punct de vedere mecanic, a pieselor în mișcare și, în cazul aparatelor

de conectare, se verifică închiderea simultană a contactelor principale.

Perioadele la care trebuie să fie făcute reviziile preventive ale aparatelor şi echipamentului diferitelor instalaţii sînt arătate orientativ în tabela 12—4.

Tabela 12—4

Periodicitatea reviziilor preventive ale aparatelor diferitelor instalaţii electrice

Denumirea aparatelor şi instalaţiilor la care sînt montate	Numărul manevrelor	Intervalul de timp dintre revizii
Reostate de pornire	2—3 pe zi	6 luni
Reostate de pornire şi reglare	20 pe zi	1 lună
Reostate de excitaţie	8—10 pe oră	1 lună
Maşini tipografice		
Compresoare, Ferăstraie	3—4 pe oră	1 săptămînă
Pompe centrifuge pentru hidrofoare etc.	20 pe oră	1 săptămînă
Ascensoare pentru locuinţe	12 pe oră	1 săptămînă
Ascensoare pentru mărfuri	6 pe oră	2 săptămîni
Ascensoare pentru instituţii	60 pe oră	3 zile
Macarale şi poduri rulante (lucrînd cu un schimb pe zi)	60—120 pe oră	3 zile
Macarale şi poduri rulante (lucrînd cu trei schimburi pe zi)	60—120 pe oră	1 zi
Utilaj pentru foraj petrolifer	20—40 pe oră	1 zi
Maşini de extracţie şi trolii miniere	15—20 pe oră	1 zi
Maşini de încărcat în cuptoare Martin (oţelării)	60—120 pe oră	1 zi

Capitolul XIII

Transformatoare

Dezvoltarea tuturor sectoarelor economiei naţionale — îndeosebi a agriculturii — impune creşterea deosebit de rapidă a producţiei de transformatoare. În acest sens, Directivele celui de-al III-lea Congres al P.M.R., care prevăd creşterea industriei electrotehnice de 2,5 ori pînă în 1965, trasează sarcina ca producţia de transformatoare să se dezvolte într-un ritm şi mai rapid, avînd ca obiective modernizarea fabricaţiei şi ajungerea la cel mai înalt nivel tehnic. Fabrica Electroputere, creaţie a regimului de democraţie populară, fabrică transformatoare de o înaltă calitate, acoperind necesităţile interne şi comenzile pentru export.

1. Principiul de funcţionare a transformatorului electric

Se consideră un miez de oţel moale avînd forma reprezentată în figura 13—1, secţiunea miezului fiind, de exemplu, dreptunghiulară. Se presupune că pe ramura din stînga a miezului există un bobinaj cu N_1 spire din sîrmă izolată, iar pe ramura din dreapta, un alt bobinaj cu N_2 spire.

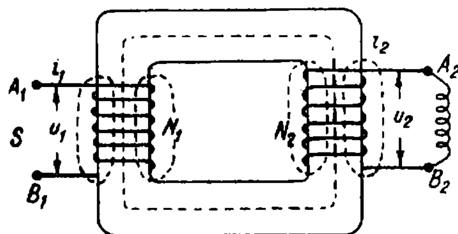


Fig. 13-1. Transformatorul reprezentat schematic.

Dacă între bornele A_1 şi B_1 ale bobinajului din stînga se aplică de la o sursă de curent alternativ S o tensiune alternativă de valoare instantanee u_1, bobinajul va fi parcurs de un curent

alternativ de valoare instantanee i_1. Curentul i_1 produce în miezul de oțel un flux magnetic alternativ, a cărui valoare instantanee este dată de legea circuitului magnetic:

$$\Phi_1 = \frac{N_1 \, i_1}{\mathfrak{R}},$$

în care $\mathfrak{R}$ este reluctanța circuitului magnetic.

Acest flux magnetic alternativ, străbătînd bobinajul din dreapta, va produce în el, pe baza fenomenului de inducție electromagnetică, o forță electromotoare de inducție, alternativă. Dacă bobinajul din dreapta este închis, în circuitul lui va lua naștere un curent alternativ de valoare instantanee i_2. Curentul alternativ i_2, care străbate bobinajul din dreapta, produce în miezul de oțel un flux magnetic alternativ, a cărui valoare instantanee este:

$$\Phi_2 = \frac{N_2 \, i_2}{\mathfrak{R}}.$$

În miez va exista deci în realitate un flux magnetic alternativ rezultant, a cărui valoare instantanee este:

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 = \frac{N_1 \, i_1 + N_2 \, i_2}{\mathfrak{R}}.$$

Fiecare spiră a bobinajului din stînga și din dreapta este, așadar, străbătută de fluxul magnetic alternativ Φ. Acesta, fiind variabil în timp, va produce în fiecare spiră din cele două bobinaje cîte o forță electromotoare de inducție. Dacă într-un interval de timp foarte mic, t, fluxul magnetic rezultant variază între valorile Φ_a și Φ_b, forța electromotoare de inducție într-o spiră oarecare va fi, după cum se știe:

$$e = \frac{\Phi_a - \Phi_b}{t}.$$

În toate cele N_1 spire ale bobinajului din stînga, forța electromotoare de inducție va avea o valoare instantanee de N_1 ori mai mare, adică:

$$e_1 = N_1 \, e.$$

În toate cele N_2 spire ale bobinajului din dreapta, forța electromotoare de inducție va avea o valoare instantanee de N_2 ori mai mare, adică:

$$e_2 = N_2 \, e.$$

Raportul dintre cele două forțe electromotoare este:

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{N_1 e}{N_2 e} = \frac{N_1}{N_2}.$$

Diferența dintre tensiunea u_1 la bornele bobinajului din stînga și forța electromotoare e_1 din acest bobinaj și dintre u_2 și e_2 din bobinajul din dreapta există datorită căderii de tensiune în bobinaje.

Deoarece cele două căderi de tensiune sînt foarte mici față de forțele electromotoare e_1 și e_2, se poate considera că raportul dintre forțele electromotoare e_1 și e_2 este practic egal cu raportul dintre tensiunile u_1 și u_2, adică:

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{u_1}{u_2}.$$

Rezultă atunci că se poate scrie:

$$\frac{u_1}{u_2} = \frac{N_1}{N_2}. \tag{13.1}$$

Deoarece u_1 și u_2 sînt valori instantanee, ultima relație este valabilă și pentru valorile maxime U_{m1} și U_{m2} și pentru valorile eficace U_1 și U_2 ale celor două tensiuni:

$$\frac{U_{m_1}}{U_{m_2}} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = K, \tag{13.2}$$

adică, raportul dintre valorile eficace ale tensiunilor este egal cu raportul direct al numărului de spire din cele două bobinaje.

Aparatul din figura 13—1 poartă numele de *transformator electric*. Scopul principal al unui transformator electric este de a primi energie electrică (în curent alternativ) sub o anumită tensiune și de a o *transforma* sub o altă tensiune. Raportul N_1/N_2 poartă numele de *raport de transformare* al transformatorului. Circuitul care primește energia electrică se numește circuit *primar* (sau inductor), iar circuitul care dă mai departe energia electrică se numește circuit *secundar* (sau indus).

Se notează cu I_1 și I_2 valorile eficace ale curenților i_1 și i_2, de asemenea cu φ_1 și φ_2 unghiurile de defazaj formate de curenții I_1 și I_2 cu tensiunile respective U_1 și U_2.

Puterea electrică primită de transformator de la sursă este deci:

$$P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi_1,$$

iar puterea electrică, dată de transformator, mai departe este:

$$P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2.$$

Deoarece pierderile de putere în transformator sînt neglijabile față de puterea primită, se poate face practic aproximația:

$$P_1 = P_2,$$

adică:

$$U_1 I_1 \cos \varphi_1 = U_2 I_2 \cos \varphi_2.$$

De asemenea, în mod practic, pentru un transformator se poate considera:

$$\cos \varphi_1 = \cos \varphi_2.$$

Rezultă:

$$U_1 I_1 = U_2 I_2,$$

adică:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{K}. \qquad (13.3)$$

Aceasta arată că *raportul dintre curentul primar și cel secundar este egal cu inversul raportului de transformare.*

Cînd circuitul secundar este deschis, adică nu există nici un consumator între bornele A_2 și B_2 (fig. 13—1), se spune că transformatorul funcționează în gol. În acest caz, curentul secundar I_2 este nul. Totuși, în primar trece un curent I_0 de valoare redusă, numit *curent de mers în gol* și care reprezintă numai cîteva procente din curentul de plină sarcină al transformatorului. Faptul că în bobinajul primar trece curentul I_0 de mers în gol, înseamnă că transformatorul absoarbe și la funcționarea în gol o mică putere. Această putere servește la acoperirea *pierderilor de mers în gol*, care sînt constituite, în cea mai mare parte, din pierderile prin histeresis, provocate de magnetizarea miezului de oțel. De multe ori pierderile de mers în gol se numesc și *pierderi de magnetizare*, iar curentul I_0 de mers în gol, *curent de magnetizare*. Pierderile de mers în gol cuprind însă și pierderi prin curenți turbionari în miezul de oțel, precum și pierderile prin efect Lenz-Joule în circuitul primar. Pierderile prin histeresis și prin curenți turbionari în oțel se numesc și *pierderi în oțel*. *Aceste pierderi în oțel* sînt practic constante într-un transformator, adică au aceeași valoare, chiar dacă transformatorul funcționează în sarcină (cînd există curent secundar). Pierderile

prin efect Lenz-Joule în primar și secundar poartă numele de *pierderi în cupru* și sînt cu atît mai mari, cu cît sarcina transformatorului (adică curentul secundar și primar) este mai mare, deoarece sînt proporționale cu pătratul curentului (RI^2).

După cum s-a precizat, transformatorul primește în bobinajul primar o putere P_1 și redă în secundar puterea P_2. O mică parte din puterea primită se consumă prin pierderile ce au loc în transformator. Dacă se notează cu p aceste pierderi, se poate scrie:

$$P_1 = P_2 + p.$$

Raportul:

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - p}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + p} = \eta. \qquad (13.4)$$

(η este o literă grecească care se citește „eta") se numește *randamentul* transformatorului. Un transformator industrial are, în general, un randament aproape egal cu unitatea (0,96 de exemplu).

2. Utilizarea transformatoarelor

În practica industrială apare de multe ori necesitatea ca energia electrică produsă într-un anumit loc să fie transportată într-alt loc. Acest transport de energie se face însă cu unele pierderi, provocate mai ales de efectul Lenz-Joule în conductoarele liniei de transport. Se caută ca aceste pierderi să fie cît mai mici.

Dacă se micșorează curentul, pierderile Lenz-Joule scad mult. Cînd se transportă o energie electrică

$$W = U \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot t,$$

se vede că dacă tensiunea U se mărește, curentul I poate fi redus în proporție, fără ca valoarea energiei să se schimbe. De aici reiese necesitatea de a ridica valoarea tensiunii cu ajutorul transformatoarelor, micșorînd în felul acesta atît curentul, cît și pierderile.

Energia electrică nu poate fi însă în general utilizată de către receptoare sub tensiunea înaltă sub care a fost transportată; tensiunea trebuie să fie deci din nou coborîtă cu un alt transformator la capătul celălalt al liniei de transport.

În figura 13—2 se arată în mod schematic cum se realizează un transport de energie electrică printr-o linie monofazată de exemplu. Sursa S de curent alternativ produce această energie sub tensiune joasă. Transformatorul *ridicător* T_r mărește această tensiune la valoarea necesară liniei de transport. La locul de utilizare transformatorul *coborîtor* T_c micșorează tensiunea la valoarea necesară receptorului R.

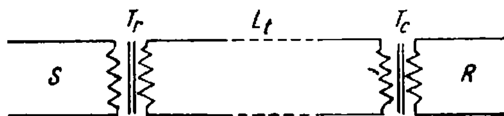


Fig. 13-2. Utilizarea transformatoarelor la transportul energiei electrice.

Transformatoarele nu pot funcționa decît în curent alternativ. Curentul continuu nu poate produce în miezul transformatorului un flux magnetic variabil, necesar funcționării transformatorului.

3. Construcția transformatoarelor

Este economic să se producă fluxul magnetic din miezul transformatorului cu o forță magnetomotoare cît mai mică. În consecință, reluctanța magnetică a circuitului magnetic trebuie să fie cît mai redusă. De aceea, miezul transformatorului se confecționează din oțel cu o mare permeabilitate magnetică. În scopul reducerii pierderilor prin curenți turbionari în oțel, miezul se realizează din tole cît mai subțiri și izolate între ele. Pentru a se reduce și pierderile prin histeresis, tolele se fabrică dintr-un oțel silicios special.

Circuitele primare și secundare ale transformatoarelor sînt constituite din bobine montate în jurul miezului de oțel. Dacă bobinele s-ar monta ca în figura 13—1 nu toate liniile magnetice produse de primar ar trece și prin secundar; de asemenea nu toate liniile magnetice produse de secundar ar trece și prin primar. O parte din aceste linii s-ar închide direct prin aer, constituind așa-numitul *flux de dispersie.* Pentru a se evita aceasta, se utilizează, de exemplu, dispoziția din figura 13—3, unde bobinele secundare s alternează cu bobinele primare p.

O altă dispoziție este reprezentată în figura 13—4, unde cele două bobinaje sînt coaxiale, și anume circuitul de tensiune mai mare înconjoară circuitul de tensiune mai mică.

În cazul generatoarelor și liniilor trifazate, transformatoarele trebuie să fie de asemenea trifazate, avînd trei bobinaje primare

și trei bobinaje secundare. Circuitul magnetic al unui transformator trifazat are de obicei trei miezuri de oțel legate la partea superioară și inferioară prin cîte un jug de oțel. Pe fiecare din cele trei miezuri se găsesc bobinajele transformatorului. În figura 13—5 sînt reprezentate conexiunile electrice ale primarului și secundarului care se întîlnesc mai des la transformatoarele trifazate. Figura 13—5, *a* reprezintă conexiunea stea-stea, figura 13—5, *b*, conexiunea triunghi-triunghi, iar figura 13—5, *c*, conexiunea triunghi-stea. De multe ori, bobinajul cu conexiune stea, dacă este pe joasă tensiune, are și conductor neutru. De exemplu, un transformator trifazat care trebuie să coboare tensiunea unei linii trifazate de 6 000 V, la tensiunea joasă de 380/220 V, pentru alimentarea unei rețele de distribuție, se va realiza cu bobinajul primar 6 000 V legat în triunghi

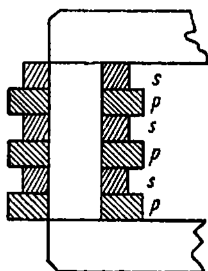


Fig. 13-3. Transformator cu bobinaje alternate.

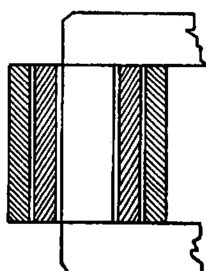


Fig. 13-4. Transformator cu bobinaje coaxiale.

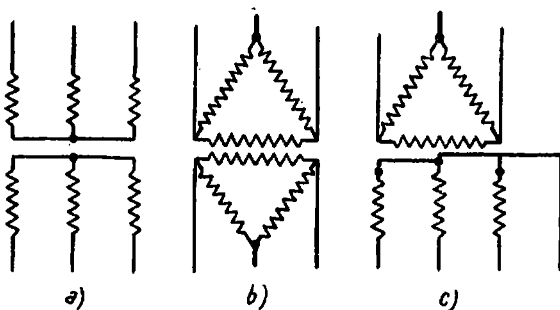


Fig. 13-5. Diferite conexiuni ale bobinajelor transformatoarelor.

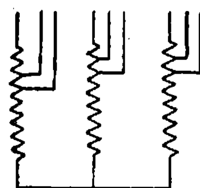


Fig. 13-6. Bobinaj de transformator cu prize suplimentare.

și cu cel secundar legat în stea cu conductor neutru (figura 13-5, *c*). Pe joasă tensiune, între două conductoare de fază, tensiunea va fi de 380 V, iar între fiecare conductor de fază și conductorul neutru, de 220 V.

Conexiunile şi domeniul de utilizare al transformatoarelor trifazate
(după STAS 1704-50)

Simbol		Diagrama vectorială		Schema de conexiuni		Domeniul de utilizare
		Tensiune		Tensiune		
STAS	Folosit în trecut	înaltă	joasă	înaltă	joasă	
Yy–12	A_2					Transformatoare coborîtoare pentru distribuţia de forţă. Transf. ridic.
Dy–11	D_1					Transformatoare coborîtoare pentru distribuţie de iluminat. Firul neutru se poate încărca 100 %
Yd–11	D_2					Transformatoare ridicătoare pentru centrale şi staţii
Yz–11	D_3					Acelaşi ca la Dy–11 numai pînă la 100 kVA
Dy–5	C_1					Acelaşi ca la Dy–11
Yd–5	C_2					Acelaşi ca la Yd–11
Yz–5	C_3					Acelaşi ca la Yz–11

În tabela 13—1 sînt date conexiunile şi domeniul de utilizare al transformatoarelor trifazate după STAS 1704-50.

Pentru a se putea obţine, la acelaşi transformator, raporturi de transformare diferite, se prevăd *prize suplimentare*, după cum se arată în figura 13—6, unde s-a reprezentat circuitul primar sau secundar al unui astfel de transformator. Fiecare fază are cîte trei prize. Fiecărei prize îi corespunde un anumit număr de spire. Faţă de priza mijlocie, raportul de transformare se poate schimba cu cîteva procente în plus sau în minus, de exemplu $\pm 4\%$ prin legarea la prizele extreme. De obicei, pentru a se schimba legăturile de la o priză la alta, transformatorul trebuie scos de sub sarcină (întreruperea circuitului secundar). Există însă şi transformatoare, prevăzute cu dispozitive speciale, care permit schimbarea raportului de transformare sub sarcină.

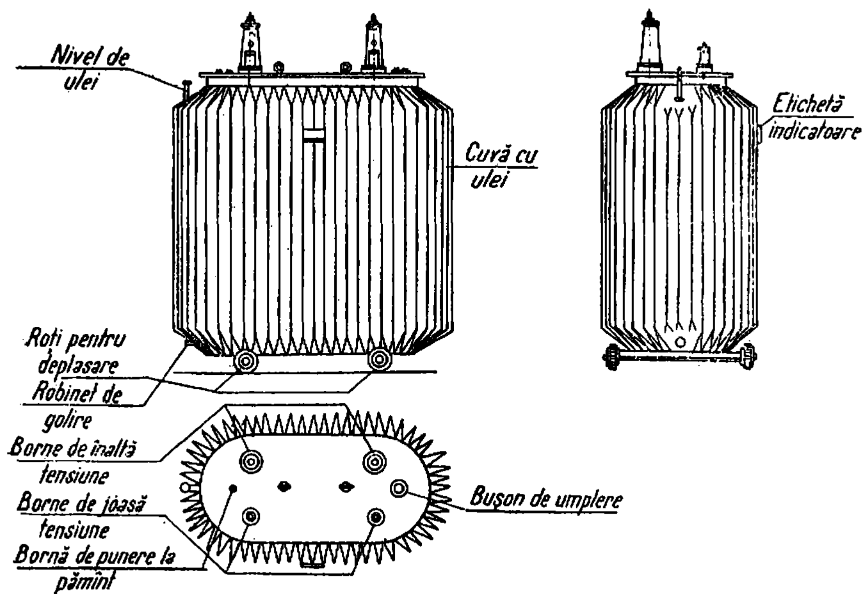


Fig. 13-7. Transformator cu răcire naturală în ulei.

Miezul transformatorului şi bobinajele sînt cufundate într-o cuvă metalică, uneori cu pereţii ondulaţi, plină de *ulei de transformator* (fig. 13—7). În timpul funcţionării, transformatorul se încălzeşte, deoarece energia care se pierde

prin efectul Lenz-Joule, prin curenţi turbionari şi prin histeresis se transformă în căldură. Uleiul se încălzeşte şi el, iar în interiorul cuvei se produce o circulaţie de ulei, căldura absorbită de la transformator fiind cedată apoi mediului exterior. Ondulaţiile cuvei servesc ca să se mărească mult suprafaţa de contact dintre ulei şi mediul exterior, iar circulaţia uleiului face răcirea şi mai activă. Un astfel de transformator se numeşte transformator cu răcire naturală prin ulei.

Deasupra cuvei se montează un rezervor cilindric, numit şi *conservator de ulei* în legătură cu cuva (fig. 13—8). Acesta permite să fie cuva totdeauna plină cu ulei, chiar şi atunci cînd nivelul uleiului variază din cauza dilatărilor care depind de sarcina transformatorului. Rezervorul permite de asemenea ca suprafaţa de contact dintre ulei şi aer să fie mai redusă, ceea ce evită o alterare prea rapidă a uleiului.

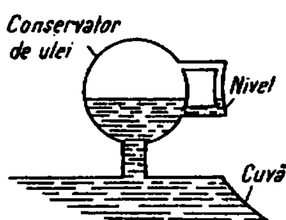


Fig. 13-8. Conservator de ulei.

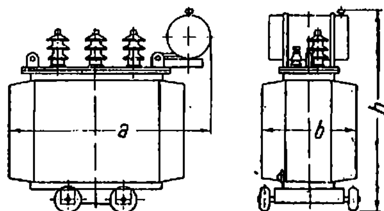


Fig. 13-9. Transformator trifazat în baie de ulei, fabricat în R.P.R., 100 kVA 6 000 V: $a = 1250$; $b = 650$; $h = 1800$

În R.P.R. se construiesc multe tipuri de transformatoare. Figura 13—9 reprezintă, de exemplu, un asemenea transformator trifazat, în baie de ulei, cu puterea de 100 kVA şi pentru tensiuni pînă la 6 000 V.

4. Tensiunea de scurtcircuit şi mersul în paralel al transformatoarelor

Se presupune că secundarul unui transformator este legat în scurtcircuit printr-un ampermetru (fig. 13—10) şi se aplică primarului o tensiune astfel încît curentul din secundar să capete valoarea lui nominală de plină sarcină. Tensiunea la bornele secundarului este practic nulă, dat fiind că rezistenţa ampermetrului este foarte mică. Tensiunea aplicată în condiţiile ară-

tate la bornele primarului poartă numele de *tensiune de scurtcircuit* (U_{sc}). Aceasta este una dintre caracteristicile importante ale transformatorului, în special pentru faptul că are un rol deosebit la *mersul în paralel* al transformatoarelor, după cum se va arăta mai departe. Valoarea tensiunii de scurtcircuit a unui transformator reprezintă de obicei cîteva procente din tensiunea nominală a bobinajului respectiv.

Două sau mai multe transformatoare funcționează în paralel, atunci cînd sînt legate la aceleași bare colectoare de curent, atît pe partea primară, cît și pe partea secundară, după cum se arată în figura 13—11. Sursa S de curent alternativ alimentează barele colectoare B_1, la care sînt legate cele două transformatoare T_1 și T_2. Barele secundare B_2 alimentează, la rîndul lor, un receptor oarecare R.

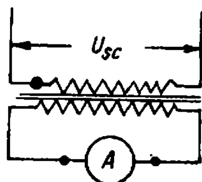


Fig. 13-10. Tensiunea de scurtcircuit.

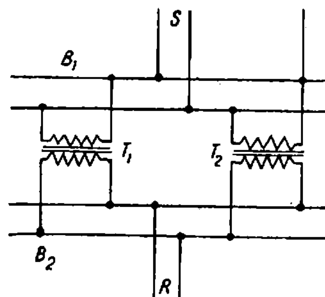


Fig. 13-11. Două transformatoare în paralel.

Pentru ca mai multe transformatoare să poată funcționa în paralel în bune condiții, trebuie să îndeplinească o serie de prescripții, dintre care cele mai importante sînt:

— să aibă aceeași tensiune primară și secundară;

— să aibă aceeași tensiune de scurtcircuit;

— raportul dintre puterile a două transformatoare oarecare să nu fie mai mic decît 1/3.

5. Autotransformatorul

La unele transformatoare, primarul nu este separat electric de secundar, deși ambele bobinaje sînt așezate pe același miez de oțel, care formează un cadru închis. Aceste două bobinaje se găsesc legate în continuare, după cum se arată în figura 13—12,

unde primarul este constituit dintr-o parte din spirele secundarului. Un asemenea transformator poartă numele de *autotransformator* şi poate fi ridicător, ca în figură, sau coborîtor.

Dacă se notează cu N_1 numărul de spire primare (între b şi c) şi cu N_2 numărul de spire secundare (între a şi c), se poate scrie cu suficientă aproximaţie:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = K = \frac{I_2}{I_1},$$

în care K este raportul de transformare al transformatorului, I_1 şi I_2 — valorile eficace ale curentului în primar şi secundar, iar U_1 şi U_2, — valorile eficace ale tensiunii la bornele primarului şi secundarului.

Din figura 13—12 se vede că curentul I_c din porţiunea comună a bobinajului rezultă din diferenţa dintre curentul primar I_1 şi curentul secundar I_2. Cînd curenţii I_1 şi I_2 au valori apropiate (raport de transformare apropiat de unitate), curentul I_c din porţiunea comună are o valoare mică, ceea ce permite să se facă economie de cupru la bobinajul respectiv, prin micşorarea secţiunii sale. Din această cauză, autotransformatoarele se con-

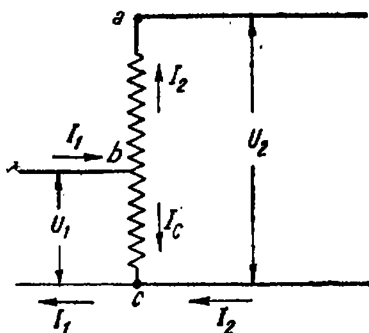
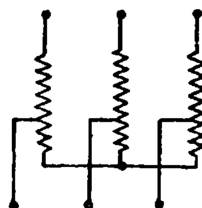


Fig. 13-12. Autotransformator.


Fig. 13-13. Autotransformator trifazat.

struiesc în general pentru un raport de transformare care variază între 0,5 şi 2, astfel încît se realizează o importantă economie de material faţă de transformatoarele obişnuite.

Figura 13—13 reprezintă schema electrică a unui autotransformator trifazat.

6. Transformatoarele de măsură

Aparatele de măsurat destinate să măsoare diferite mărimi electrice (curent, tensiune, putere etc.) la o rețea de înaltă tensiune, se leagă la această rețea prin intermediul unor *transformatoare de măsură*, care permit ca aparatele de măsurat să funcționeze pe joasă tensiune, primarul fiind legat la rețeaua de înaltă tensiune.

Independent de separarea aparatelor de măsurat față de tensiunea înaltă, transformatoarele de măsură servesc și la lărgirea limitelor de măsurare ale aparatelor de măsurat.

Fig. 13–14. Legarea unui ampermetru cu transformator de curent.

În figura 13–14 se arată legarea unui ampermetru la o rețea de înaltă tensiune, prin intermediul unui transformator de măsură *T*, care se numește *transformator* sau *reductor de curent*. Aceste transformatoare se construiesc în mod normal astfel, încît la curentul nominal din primar să corespundă un curent de 5 A în secundar, scara fiind însă gradată pentru curentul din primar.

Chiar în cazul unei rețele de joasă tensiune, dacă valoarea curentului în această rețea este foarte mare, de exemplu 500 A,

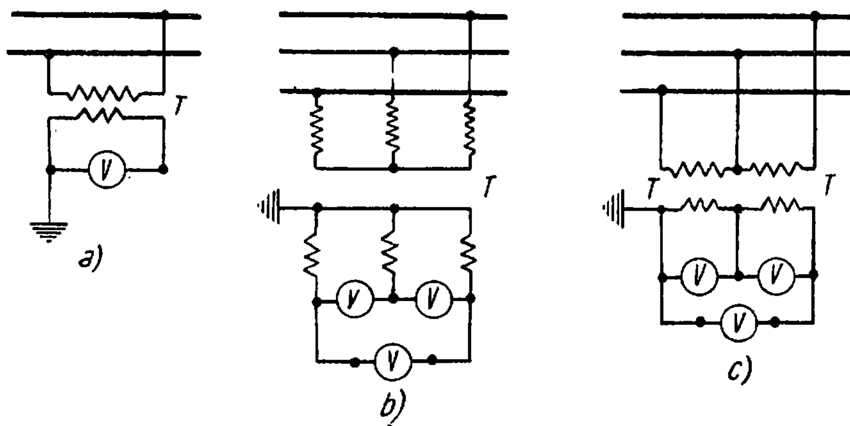
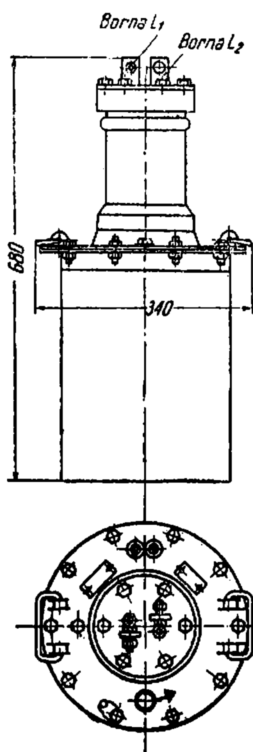


Fig. 13–15. Legarea voltmetrelor cu transformatoare de tensiune.

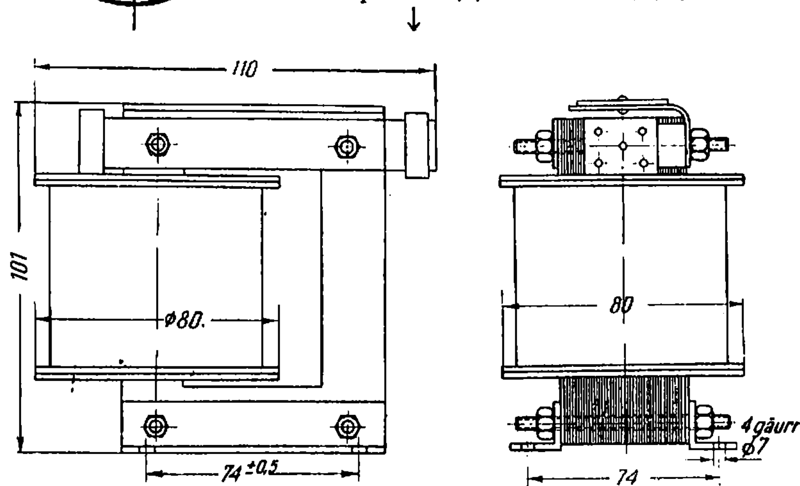


se poate utiliza totuşi un ampermetru de numai 5 A, dacă se utilizează un transformator de curent 500/5 A, iar scara ampermetrului se gradează 0 ... 500 A.

În figura 13—15,*a* este reprezentată legarea unui voltmetru la o reţea monofazată de înaltă tensiune, prin intermediul unui *transformator* sau *reductor de tensiune* monofazat *T*. În figura 13—15, *b* este reprezentat un transformator de tensiune trifazat *T*, iar în figura 13—15, *c*, două transformatoare de tensiune monofazate *T* montate în *V* şi legate de asemenea la o reţea trifazată pentru alimentarea a trei voltmetre. Transformatoarele de tensiune sînt în mod normal astfel construite, încît atunci cînd se aplică primarului tensiunea nominală, la bornele secundarului, tensiunea să fie

← Fig. 13-16. Transformator de curent tip TISU-15, fabricat în R.P.R.

Fig. 13-17. Transformator de tensiune tip TTM-0,4, fabricat în R.P.R. ↓



de 100 V, scara aparatelor gradîndu-se însă după valorile tensiunii primare de măsurat.

În mod analog se pot lega, prin intermediul transformatoarelor de măsură, wattmetre, contoare etc.

În figura 13—16 este reprezentat aspectul exterior al unui transformator de curent, iar în figura 13—17, aspectul exterior al unui transformator de tensiune, ambele fabricate în R.P.R.

Capitolul XIV

Maşini asincrone

1. Generalităţi

În funcţie de felul curentului, maşinile electrice pot fi maşini de curent alternativ şi maşini de curent continuu. Independent de felul curentului, maşina care absoarbe energie mecanică şi o transformă în energie electrică se numeşte *generator electric*, iar maşina care absoarbe energie electrică şi o transformă în energie mecanică se numeşte *motor electric*. Maşinile electrice sînt *reversibile*, adică generatorul poate funcţiona ca motor şi motorul poate funcţiona ca generator. Orice maşină electrică are o parte fixă numită *stator*, în interiorul căruia se învîrteşte o parte mobilă numită *rotor*. De aceea, generatoarele şi motoarele electrice au căpătat denumirea comună de maşini electrice rotative. Între rotor şi stator se află un interstiţiu de aer numit *întrefier*. Rotorul şi statorul sînt construite din materiale magnetice şi formează circuitul magnetic al maşinii, prin care trece fluxul magnetic produs de curenţii care parcurg bobinajele aşezate atît pe stator, cît şi pe rotor. La baza funcţionării tuturor maşinilor electrice stă fenomenul inducţiei electromagnetice, respectiv interacţiunea dintre cîmpurile magnetice produse în interiorul lor.

Prima categorie de maşini electrice care va fi descrisă o constituie maşinile asincrone, din grupa maşinilor de curent alternativ. În prealabil, se vor da noţiunile necesare privind producerea cîmpurilor magnetice învîrtitoare, fundamentale pentru funcţionarea unor maşini electrice rotative.

2. Producerea unui cîmp magnetic învîrtitor

În figura 14—1 se consideră un magnet în formă de potcoavă. Între polii N şi S ai acestui magnet există un cîmp magnetic, care poate fi reprezentat prin liniile de forţă respective. Dacă magnetul se roteşte în jurul unei axe oarecare, de exemplu axa O, cîmpul magnetic dintre cei doi poli se va roti şi el. S-a obţinut deci un cîmp *magnetic învîrtitor*. Există însă posibilitatea de a se obţine un cîmp magnetic învîrtitor, fără să fie nevoie de mişcarea unei piese materiale; această posibilitate se utilizează în funcţionarea unor maşini electrice, după cum se va arăta mai tîrziu.

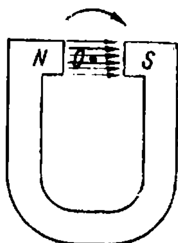


Fig. 14-1. Magnet în rotaţie şi cîmp magnetic învîrtitor.

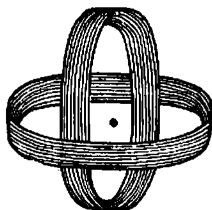


Fig. 14-2. Două bobine perpendiculare una pe alta.

În figura 14—2 s-au reprezentat două bobine identice, una verticală şi cealaltă orizontală, aşezate una într-alta şi fără a avea vreo legătură electrică între ele. În bobina aşezată în planul orizontal se trimite un curent alternativ, iar în bobina din planul vertical se trimite alt curent alternativ, astfel încît aceşti doi curenţi să constituie un sistem de doi curenţi bifazaţi, pulsaţia lor fiind ω.

Fiecare bobină va crea în jurul ei un cîmp magnetic alternativ. În figura 14—3 se arată liniile de forţă ale cîmpului magnetic produs la un moment dat de bobina verticală. Inducţia magnetică în centrul bobinei, pe direcţia axului orizontal al bobinei, este reprezentată prin vectorul notat cu $\overline{B_1}$. Deoarece curentul care produce cîmpul magnetic este alternativ, iar inducţia magnetică este proporţională cu curentul care o produce, înseamnă că şi inducţia magnetică variază potrivit legii sinusului cu aceeaşi pulsaţie ca şi curentul, astfel încît se poate scrie:

$$B_1 = B_m \sin \omega t,$$

în care B_m este valoarea maximă a inducţiei.

În figura 14—4 sînt reprezentate liniile magnetice ale cîmpului produs de bobina orizontală. Inducţia magnetică în centrul bobinei, pe direcţia axului vertical al bobinei, este reprezentată prin vectorul $\overline{B_2}$. Deoarece curentul din bobina

orizontală este alternativ, înseamnă că și inducția magnetică B_2 variază potrivit legii sinusului cu aceeași pulsație ω. Dar cei doi curenți fiind bifazați, rezultă că și inducțiile magnetice B_1 și B_2 sînt bifazate și în consecință:

$$B_2 = B_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right).$$

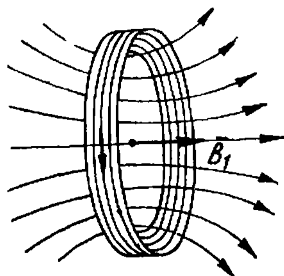


Fig. 14-3. Liniile de forță din interiorul bobinei verticale (cu axa orizontală).

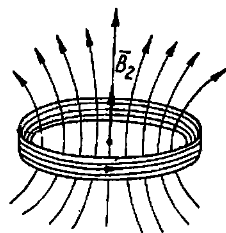


Fig. 14-4. Liniile de forță din interiorul bobinei orizontale (cu axa verticală).

Din cele de mai înainte rezultă că în centrul celor două bobine din figura 14—2 apar două inducții magnetice bifazate și perpendiculare între ele care, fiind mărimi vectoriale, pot fi reprezentate prin doi vectori perpendiculari între ei.

În figura 14—5 s-au trasat acești doi vectori. Inducția magnetică din centrul celor două bobine va fi o mărime vectorială, care va rezulta din compunerea, conform regulii paralelogramului, a celor doi vectori $\overline{B}_1$ și $\overline{B}_2$. Deoarece însă $\overline{B}_1$ și $\overline{B}_2$ variază în timp potrivit legii sinusului, va trebui să se facă succesiv o serie întreagă de asemenea compuneri, luîndu-se pentru fiecare moment valoarea respectivă a inducțiilor magnetice B_1 și B_2.

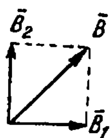


Fig. 14-5. Compunerea celor două inducții magnetice $\overline{B}_1$ și $\overline{B}_2$.

În figura 14—6 sînt reprezentate sinusoidele potrivit cărora se consideră că variază inducțiile magnetice B_1 și B_2. Se vede că sinusoida pentru inducția magnetică B_2 a fost trasată identic cu sinusoida B_1, dar decalată înainte cu unghiul $\pi/2$, deoarece inducțiile magnetice sînt bifazate. S-au luat pe axa absciselor nouă puncte echidistante (la distanțe egale) și pentru fiecare punct s-a măsurat valoarea inducțiilor magnetice B_1 și B_2 pe sinusoidele respective.

În figura 14—7 s-au trasat pentru fiecare din cele nouă puncte cîte doi vectori perpendiculari avînd valorile respective $\overline{B}_1$ şi $\overline{B}_2$, şi s-a construit apoi şi rezultanta corespunzătoare $\overline{B}$. Dacă se urmăresc cele nouă poziţii 1—9, se observă că rezultanta $\overline{B}$ este un vector de lungime constantă, dar *care se roteşte în jurul punctului O*. Acest punct este în realitate centrul celor două bobine din figura 14—2.

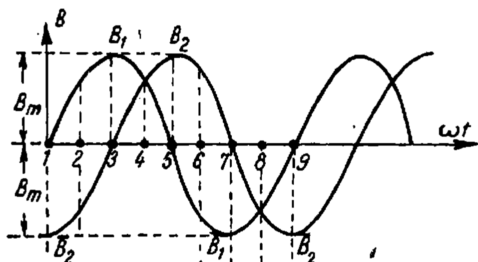


Fig. 14-6. Reprezentarea grafică a inducţiilor magnetice B_1 şi B_2.

Valoarea inducţiei magnetice rezultante este egală cu valoarea maximă a fiecărei inducţii magnetice componente.

Rezultă, aşadar, că în centrul celor două bobine, vectorul rezultant al inducţiei magnetice are o valoare constantă, *dar se roteşte*. Aceasta corespunde rotaţiei unei singure linii de forţă.

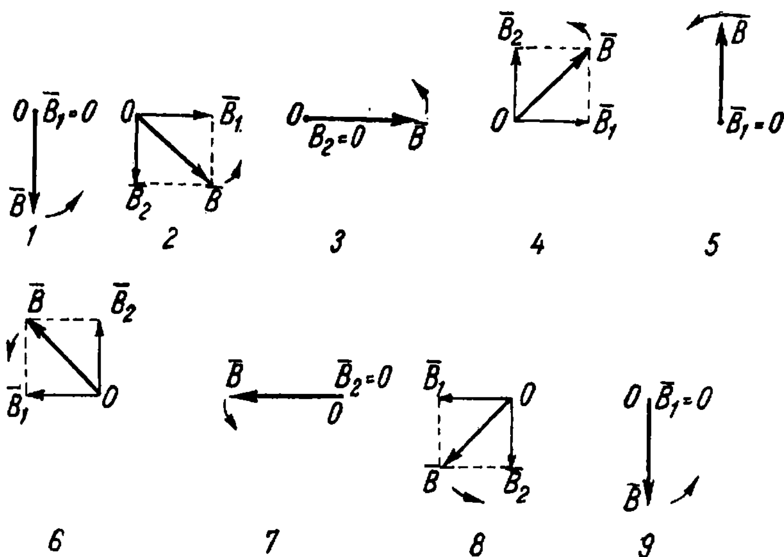


Fig. 14-7. Rotirea vectorului inducţiei magnetice $\overline{B}$.

În interiorul celor două bobine se formează însă un număr foarte mare de linii de forță, care se rotesc în același timp, adică există un cîmp magnetic învîrtitor, care s-a obținut fără să se miște vreo piesă materială. Viteza unghiulară de rotație a acestui cîmp magnetic este egală cu pulsația ω a celor doi curenți bifazați care parcurg bobinele.

În figura 14—8 se consideră trei bobine identice făcînd între ele unghiuri de 120° sau $2\pi/3$. Bobinele nu au vreo legătură

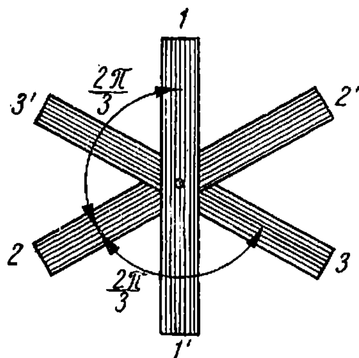


Fig. 14-8. Trei bobine identice decalate între ele la 120°.

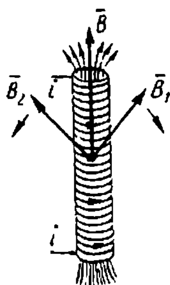


Fig. 14-9. Bobină parcursă de un curent monofazat.

electrică între ele și sînt parcurse de un sistem trifazic de curent. Printr-un raționament asemănător cu cel precedent se poate ajunge și în acest caz la concluzia că în interiorul bobinelor se formează un cîmp magnetic învîrtitor constant ca valoare și care se rotește în jurul centrului bobinelor cu viteza unghiulară ω, egală cu pulsația curenților din bobine. Prin calcule se găsește că inducția magnetică a cîmpului rezultant este egală cu 3/2 din inducția maximă a cîmpului datorit fiecărei bobine.

3. Descompunerea unui cîmp magnetic alternativ în două cîmpuri magnetice învîrtitoare

Dacă se consideră o bobină (fig. 14—9) cu o inducție magnetică alternativă $\overline{B}$, aceasta se poate descompune în două inducții magnetice $\overline{B}_1$ și $\overline{B}_2$, egale fiecare cu jumătate din inducția

magnetică maximă inițială și care se rotesc în sensuri contrare cu o viteză unghiulară ω egală cu pulsația inducției magnetice $\overline{B}$. Se poate spune și că cele două inducții magnetice $\overline{B}_1$ și $\overline{B}_2$ care se rotesc în sensuri contrare pot fi înlocuite cu inducția magnetică alternativă $\overline{B}$.

4. Principiul de funcționare a motorului asincron

Motorul asincron este o mașină electrică rotativă, constituită dintr-o parte fixă S (fig. 14—10), numită stator și care este formată dintr-o carcasă, în interiorul căreia se află un miez din table de oțel izolate între ele, avînd forma generală a unui cilindru gol, în interiorul căruia se poate învîrti rotorul R, tot din table de oțel și care are forma generală a unui cilindru plin. Spațiul i dintre stator și rotor constituie *întrefierul mașinii*. Statorul conține pe fața lui interioară o serie de *crestături*, în care sînt introduse conductoarele izolate care formează bobinajul statoric. De asemenea, rotorul are pe suprafața cilindrică crestăturile prevăzute pentru bobinajul rotoric.

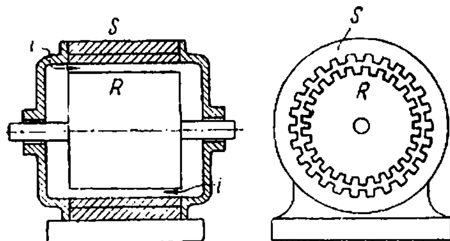


Fig. 14-10. Schema constructivă a motorului asincron.

Atît bobinajul statoric, cît și cel rotoric formează un anumit număr de faze, iar fiecare fază este astfel bobinată, încît să realizeze un *anumit număr de perechi de poli magnetici*. Motorul asincron trifazat are bobinajul statoric format din trei faze. Numărul de faze rotorice poate să fie diferit de numărul de faze statorice. Numărul de poli care se formează pe fiecare fază statorică trebuie să fie însă egal cu numărul de poli pe fiecare fază rotorică. Rețeaua electrică de alimentare se leagă la bobinajul statoric al motorului.

Pentru concretizare, se consideră un motor asincron trifazat (stator trifazat) *cu șase poli*, pe fiecare fază statorică și rotorică. Pentru a se arăta mai clar felul în care este realizat bobinajul statoric, se presupune statorul *desfășurat* ca în figura 14—11. Faza I este reprezentată în trăsături pline, faza a II-a, în liniuțe

întrerupte, iar faza a III-a, în puncte. Dacă, de exemplu, în faza I curentul ar trece la un moment dat în sensul indicat prin săgeți, se vor forma cei șase poli *N* și *S*, după cum s-a indicat pe figură. Faza a II-a este identică cu faza I, dar decalată în spațiu pe periferia statorului față de faza I cu un unghi egal cu o treime din unghiul format între doi poli alăturați de același nume din faza I. Faza a III-a este identică cu faza a II-a și cu faza I, dar de asemenea decalată față de faza a II-a cu un unghi egal cu o treime din unghiul format între doi poli alăturați de același nume sau față de faza I cu un unghi egal cu două treimi din unghiul format între doi poli alăturați de același nume. Cele trei bobinaje de fază statorice se leagă electric între ele în stea sau în triunghi (fig. 14—12). Cei trei curenți trifazați din fazele statorice dau naștere la trei cîmpuri magnetice. Aceste cîmpuri magnetice sînt astfel așezate în spațiu, încît

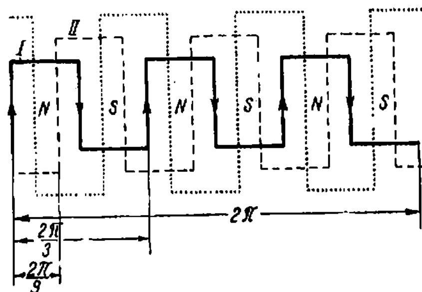


Fig. 14-11. Bobinajul desfășurat al unui stator trifazat de motor asincron.

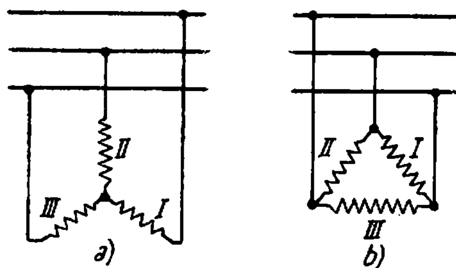


Fig. 14-12. Legarea fazelor statorice: *a* — în stea; *b* — în triunghi.

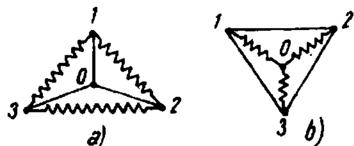


Fig. 14-13. Legarea în scurtcircuit a fazelor rotorice: *a* — în triunghi; *b* — în stea.

au ca rezultantă un cîmp magnetic învîrtitor, care se rotește în jurul axului motorului cu o viteză unghiulară egală cu ω/p rad/s, unde ω este pulsația curentului de alimentare în Hz, iar p, numărul perechilor de poli. Liniile de forță ale cîmpului magnetic învîrtitor „taie" conductoarele bobinajului rotoric.

Se presupune că şi rotorul este tot trifazat. Bobinajul rotoric desfăşurat se prezintă ca şi cel statoric, după cum s-a arătat în figura 14—11. Din punct de vedere electric, fazele rotorice se leagă între ele în stea sau în triunghi. Deoarece este neapărat necesar ca în fazele rotorice să poată circula curenţi, pentru motivele care se vor arăta mai departe, aceste faze rotorice se leagă în scurtcircuit, astfel cum se arată în figura 14—13, *a* pentru cazul legării în triunghi şi în figura 14—13,*b* pentru cazul legării în stea.

Deoarece, după cum s-a arătat, liniile de forţă ale cîmpului magnetic învîrtitor taie conductoarele rotorice, se produc în fazele rotorice, prin fenomenul de inducţie electromagnetică, trei forţe electromotoare de inducţie trifazate, care dau naştere, la rîndul lor, la trei curenţi rotorici trifazaţi. Aceşti curenţi, găsindu-se într-un cîmp magnetic, vor fi supuşi unor forţe electromagnetice. Conform legii lui Lenz, efectul trebuie să se opună cauzei. Cauza apariţiei curenţilor rotorici şi a forţelor electromagnetice o constituie faptul că există o viteză relativă între cîmpul magnetic învîrtitor şi conductoarele rotorice. În consecinţă, efectul, adică curenţii rotorici şi forţele electromagnetice, ce se exercită asupra lor, vor fi astfel, încît să caute să micşoreze viteza relativă menţionată. Aceasta înseamnă că forţele electromagnetice vor constitui un cuplu electromagnetic de rotaţie, care *va antrena rotorul în acelaşi sens cu sensul de rotaţie al cîmpului magnetic învîrtitor.*

5. Alunecarea motorului asincron

Rotorul nu va putea, în rotaţia sa, să atingă viteza unghiulară ω/p a cîmpului magnetic învîrtitor. Într-adevăr, dacă s-ar produce aceasta, cîmpul magnetic învîrtitor ar avea o poziţie neschimbată faţă de conductoarele rotorice şi, în consecinţă, nu vor mai putea exista curenţi induşi în rotor, deci nici forţe electromagnetice care să antreneze rotorul, iar acesta îşi va micşora viteza faţă de aceea a cîmpului magnetic învîrtitor.

Deoarece rotorul nu se poate învîrti cu aceeaşi viteză ca şi viteza cîmpului magnetic învîrtitor, adică nu se poate învîrti în *sincronism* (în acelaşi timp) cu cîmpul magnetic, motorul se numeşte *asincron* (adică: *nu* în acelaşi timp).

Motorul se mai numeşte şi *de inducţie*, deoarece funcţionarea sa se bazează pe un fenomen de inducţie. Există o oarecare

asemănare între funcționarea motorului asincron și aceea a transformatorului. Statorul motorului este analog cu primarul transformatorului, iar rotorul, cu secundarul transformatorului.

Dacă în figura 14—13, *a* nu s-ar fi făcut legăturile de scurtcircuitare ale rotorului 1 ...0, 2 0 și 3'... 0, cele trei forțe electromotoare din circuitul 1 2 ... 3 1 ar da o forță electromotoare rezultantă nulă, deoarece suma a trei forțe electromotoare trifazate simetrice este nulă; din această cauză n-ar putea exista curenți în bobinajul rotoric și în consecință rotorul nu s-ar învîrti.

În ce privește figura 14—13,*b*, este evident că fără legăturile de scurtcircuitare 1 ... 2 ... 3 ... 1, n-ar putea circula curenți în rotor, deoarece n-ar exista circuite închise.

Se notează cu Ω viteza unghiulară a cîmpului magnetic învîrtitor (care se numește și viteză de sincronism) și cu Ω', viteza unghiulară a rotorului, mai mică decît Ω.

Expresia:

$$\frac{\Omega - \Omega'}{\Omega} = a \qquad (14.1)$$

se numește *alunecare*, deoarece arată cu cît se învîrtește mai repede cîmpul magnetic decît rotorul.

Vitezele unghiulare sînt proporționale cu vitezele măsurate în rot/min. Dacă se notează cu n_o numărul de rot/min ale cîmpului magnetic învîrtitor al statorului și cu n numărul de rotații pe minut ale rotorului, alunecarea va fi egală și cu:

$$a = \frac{n_o - n}{n_o} \qquad (14.2)$$

De multe ori, alunecarea se dă în procente față de Ω sau n_o. Valoarea în procente a alunecării este dată de:

$$a\% = \frac{n_o - n}{n_o} 100 \cdot$$

Cu cît alunecarea unui motor asincron este mai mare, cu atît pierderile prin efectul Lenz-Joule în rotor sînt mai importante și deci randamentul motorului mai scăzut. Din această cauză, motoarele asincrone industriale se realizează cu o alunecare cît mai mică, și anume de cîteva procente din viteza de sincronism (max. 6%).

Numărul de rotații pe minut ale cîmpului magnetic învîrtitor, fiind n_o, se poate scrie:

$$2\pi\, n_o \text{ rad/min.} = \frac{2\pi\, n_o}{60} \text{rad/s.}$$

În consecință:

$$\frac{2\pi n_o}{60} = \frac{\omega}{p},$$

adică:

$$n_o = \frac{60\ \omega}{2\ \pi\ p} = \frac{60 \cdot 2\pi f}{2\ \pi\ p} = \frac{60 f}{p}.$$

Dacă, de exemplu, motorul are 4 poli ($p = 2$), iar frecvența rețelei de alimentare este 50 Hz, atunci:

$$n_o = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1\ 500 \text{ rot/min},$$

adică viteza de rotație a cîmpului magnetic învîrtitor este de 1 500 rot/min. Alunecarea este de cîteva procente din această cifră, după cum s-a precizat. Dacă se presupune, de exemplu, o alunecare de 4% adică:

$$\frac{4 \cdot 1\ 500}{100} = 60 \text{ rot/min},$$

aceasta înseamnă că rotorul se va învîrti cu o viteză:

$$n = 1\ 500 - 60 = 1\ 440 \text{ rot/min}.$$

6. Cuplul motorului asincron

După cum s-a arătat, rotorul motorului se învîrtește din cauza forțelor electromagnetice care se exercită asupra curenților rotorici. Aceste forțe electromagnetice constituie un *cuplu electromagnetic* de rotație, sau *cuplul motor* al mașinii. Felul cum variază acest cuplu C în funcție de viteza rotorului constituie caracteristica mecanică a motorului. În figura 14—14 este reprezentată această caracteristică. Se vede că în momentul pornirii ($\Omega' = 0$), cuplul de pornire are o anumită valoare C_p; apoi cuplul crește și atinge o valoare maximă C_m, după care scade brusc pînă la zero. În momentul cînd, teoretic, cuplul atinge această valoare nulă, viteza Ω' a rotorului atinge, tot *teoretic*, viteza de sincronism Ω, ceea ce s-a arătat însă că nu se întîmplă în realitate.

Pentru ca motorul asincron să poată porni în sarcină, este necesar să dezvolte un cuplu de pornire puternic. În acest scop, la motorul numit *cu inele de contact* (care se va descrie mai departe) în momentul pornirii se intercalează în fiecare fază rotorică cîte o rezistență, care se scoate treptat din circuit, pe măsură ce viteza rotorului se apropie de viteza de regim. Efectul introducerii unor rezistențe în bobinajul rotoric se poate explica cu ajutorul figurii 14—15. Curba *1* este trasată pentru cazul cînd nu s-au introdus rezistențe. Pe măsură ce rezistențele introduse sînt mai mari, curba se înclină către stînga (curbele 2, 3...) după cum se vede pe figură. Din această cauză, cuplul de pornire, care la început era C_{p_1}, crește la valori din ce în ce mai mari, C_{p_2}, C_{p_3} cuplul maxim C_m rămînînd însă neschimbat ca valoare.

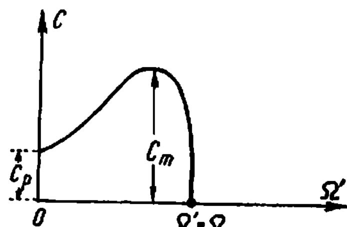


Fig. 14–14. Caracteristica mecanică a motorului asincron.

La pornire, motorul asincron absoarbe un curent cu mult mai mare decît în regim normal. Curentul de pornire poate atinge valori pînă la de circa 7 ori curentul nominal de plină sarcină. Efectul introducerii rezistențelor în bobinajul rotoric este și acela de a reduce curentul de pornire.

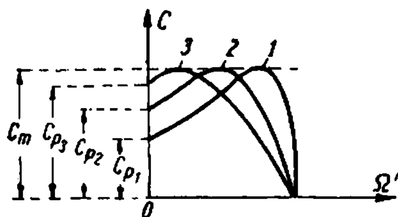


Fig. 14–15. Efectul introducerii de rezistențe în rotor.

În figura 14—15, curba caracteristicii mecanice are la început o porțiune urcătoare și apoi una coborîtoare. Porțiunea urcătoare corespunde unei funcționări *nestabile*. Pe această porțiune, la o scădere a vitezei din cauza unei creșteri bruște a sarcinii (adică a cuplului rezistent), se produce o scădere a cuplului motor *C*, ceea ce duce la o scădere și mai mare a vitezei, astfel încît rezultatul final este oprirea motorului. La o creștere a vitezei din cauza unei scăderi bruște a cuplului rezistent, corespunde o creștere a cuplului motor *C*, ceea ce duce la o creștere și mai mare a vitezei, astfel încît rezultatul este deplasarea punctului de funcționare pînă cînd ajunge pe porțiunea coborîtoare din dreapta.

Porţiunea aceasta coborîtoare corespunde unei funcţionări *stabile*. Într-adevăr, la o scădere a vitezei din cauza creşterii cuplului rezistent se produce o creştere a cuplului motor C pînă ce acesta echilibrează noul cuplu rezistent, iar funcţionarea se stabilizează. Unei creşteri a vitezei din cauza scăderii cuplului rezistent, îi corespunde o scădere şi a cuplului motor, astfel încît şi de data aceasta funcţionarea se stabilizează.

Deoarece partea din curbă care corespunde funcţionării stabile este aproape verticală, adică viteza este aproximativ aceeaşi, rezultă că motorul asincron este un motor cu viteză practic constantă la diversele sarcini.

7. Construcţia motorului asincron

Statorul are în exterior o carcasă care poate fi din fontă, aluminiu, sau tablă de oţel sudat sau ştanţat. În interiorul carcasei este fixat pachetul statoric, confecţionat din tole de oţel cu siliciu, subţiri. În acest pachet sînt tăiate crestături, care formează o serie de şanţuri paralele cu axul motorului şi în care se introduc conductoarele care constituie bobinajul statoric.

Rotorul este cilindric, fiind constituit dintr-un pachet tot din tole subţiri. Pe suprafaţa cilindrică sînt prevăzute crestăturile în care se introduc conductoarele bobinajului.

Rezistenţele care servesc la mărirea cuplului de pornire şi la limitarea curentului de pornire formează *reostatul de pornire al motorului*. Deoarece acest reostat este un aparat fix aşezat în apropierea motorului, iar rotorul este o piesă mobilă, legătura electrică dintre fazele rotorice şi reostat se face prin intermediul unor inele din alamă, bronz, oţel etc. solidare cu arborele motorului, izolate între ele şi izolate faţă de arbore. Pe aceste inele de contact freacă perii, făcute

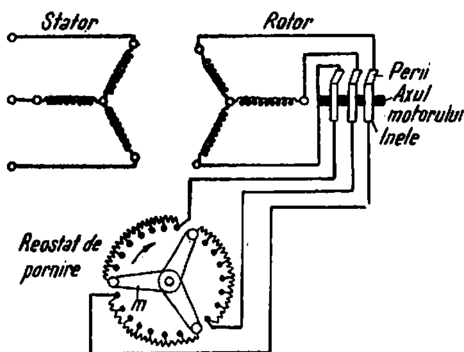


Fig. 14-16. Legarea reostatului de pornire.

din cărbune tare, grafit, bronz grafitat etc. În figura 14—16 sînt reprezentate legăturile care se fac între bobinajele rotorice şi reostatul de pornire, prin intermediul celor 3 inele metalice fixate pe capătul arborelui motorului. Pe măsură ce motorul intră în viteză, maneta *m* a reostatului este rotită în sensul săgeţii, astfel încît la sfîrşitul perioadei de pornire, toate rezistenţele să se găsească scoase din circuitele fazelor rotorice, acestea rămînînd legate în scurtcircuit.

Spre a se evita uzura prin frecare a periilor şi a inelelor de contact, la motoarele mai mari există dispozitive, prin intermediul cărora, periile sînt ridicate de pe inele la sfîrşitul perioadei de pornire, scurtcircuitînd totodată fazele rotorului.

În figura 14—17 este reprezentat un motor asincron trifazat cu rotor bobinat şi cu inele.

Există şi reostate de pornire automate; la acestea, scoaterea

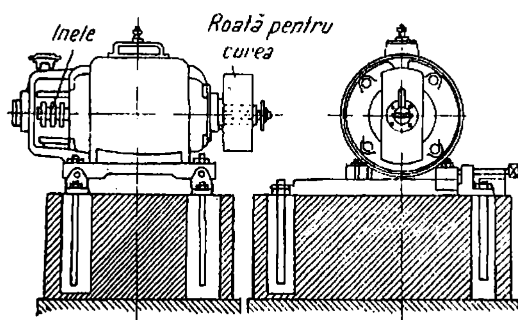


Fig. 14-17. Motor asincron cu rotor bobinat şi inele.

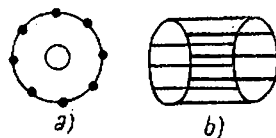


Fig. 14-18. Rotor în colivie.

rezistenţelor din bobinajele rotorice se face fie prin intermediul unui dispozitiv a cărui funcţionare este bazată pe acţiunea forţei centrifuge, fie prin alte metode.

La motoarele de putere mai mică, rotorul nu mai are bobinaje din conductoare, ci este constituit într-un mod special numit *în colivie de veveriţă*, sau, pe scurt, *în colivie* (numit de asemenea şi *în scurtcircuit*). La acest tip de motor, în crestăturile rotorului se introduc bare de cupru, care formează scheletul unui cilindru. Barele sînt scurtcircuitate la cele două capete prin inele tot de cupru, formînd un fel de colivie, după cum se poate vedea în figura 14—18. Colivia de cupru poate fi înlocuită cu o colivie de aluminiu care este mai ieftină. Aceste colivii, alcătuite din o serie de conductoare legate în scurtcircuit, explică

motivul pentru care motoarele asincrone în colivie se numesc şi cu rotorul în scurtcircuit.

La asemenea motoare, cuplul de pornire este mai mic decît la acelea cu reostat, iar curentul de pornire are o valoare mai mare. Pentru a limita acest curent, la motoarele mai mari se utilizează diferite dispozitive, care reduc tensiunea aplicată statorului în perioada pornirii şi astfel se diminuează curentul, dar şi cuplul de pornire. Figura 14—19 reprezintă schema statorului unui motor asincron trifazat cu rotorul în colivie şi cu statorul legat normal în triunghi. Reducerea tensiunii în momentul iniţial al pornirii se obţine prin legarea fazelor statorice în stea şi apoi — către sfîrşitul perioadei de pornire — prin legarea lor în triunghi. Schimbarea legăturilor se obţine cu ajutorul unui *comutator stea-triunghi*, după cum se vede în figura 14—19. În felul acesta, dacă la sfîrşitul pornirii (legare în triunghi) tensiunea pe fază statorică este U, la începutul pornirii (legare în stea) tensiunea are valoarea redusă $U/\sqrt{3}$.

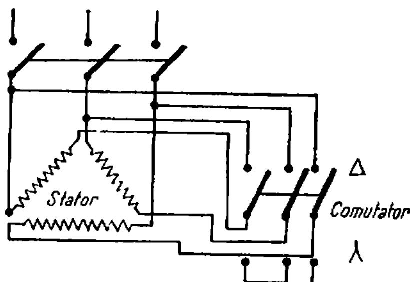


Fig. 14-19. Comutator stea-triunghi.

Tendinţa de a realiza motoare simple cu cuplu de pornire puternic şi curent de pornire limitat a dus la construirea motoarelor cu dublă colivie. Rotorul este prevăzut cu două colivii concentrice. Colivia exterioară are o rezistenţă electrică mare şi o inductanţă proprie mică, iar aceea interioară are o inductanţă proprie mult mai mare decît colivia exterioară şi o rezistenţă mică.

În orice moment, cuplul este rezultatul cuplurilor datorite fiecărei colivii. Frecvenţa curenţilor din rotor are valoarea cea mai mare (aproape egală cu frecvenţa reţelei de alimentare) în prima perioadă a pornirii. Curenţii care trec prin colivia interioară în această perioadă a pornirii sînt mici, din cauza reactanţei inductive $L\omega$ a coliviei, care este mare, deoarece atît inductanţa sa proprie L, cît şi pulsaţia curentului sînt mari. Cea mai mare parte a curentului trece în acest interval de timp prin colivia exterioară, care, avînd o rezistenţă mare, face să se obţină un cuplu de pornire puternic şi un curent de pornire redus. Pe măsură ce motorul capătă viteză, frecvenţa curenţilor din rotor

începe să scadă, ceea ce micşorează din ce în ce reactanţa coliviei interioare. Din această cauză, cea mai mare parte a curenţilor rotorici încep să treacă prin colivia interioară, părăsind colivia exterioară care are o rezistenţă mare.

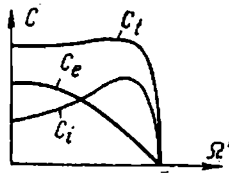


Fig. 14-20. Cuplul motorului asincron în dublă colivie.

Figura 14-20 arată cum variază în funcţie de viteza rotorică Ω' cuplul motor C_e, datorit coliviei exterioare, şi cuplul motor C_i, datorit coliviei interioare. Cuplul motor total, C_t este puternic la pornire şi variază destul de puţin pînă la atingerea valorii cuplului maxim. Comportarea motorului cu rotorul în dublă colivie este asemănătoare cu a motorului cu rotorul bobinat cu inele şi reostat de pornire, prezentînd aceleaşi avantaje.

8. Pornirea, schimbarea sensului de mers şi reglajul turaţiei la motoarele asincrone trifazate

S-a arătat la diferitele tipuri de motoare asincrone trifazate felul cum se realizează pornirea, şi anume: la motoarele cu inele de contact, cu ajutorul reostatului de pornire, la motoarele în colivie, mai mici, direct prin aplicarea tensiunii la borne, iar la cele mai mari, prin intermediul unui comutator stea-triunghi.

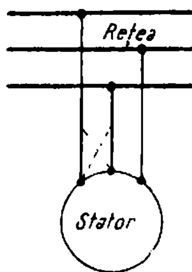


Fig. 14-21. Schimbarea sensului de mers.

Pentru a se schimba sensul de rotaţie a motorului asincron, trebuie să se schimbe sensul de rotaţie al cîmpului magnetic învîrtitor. Aceasta se obţine prin schimbarea între ele a două legături de la conductoarele de alimentare la bornele statorice. În figura 14-21, legăturile arătate în trăsături pline corespund unui sens de rotaţie, iar în trăsături punctate, sensului contrar de rotaţie.

Se poate obţine un reglaj al vitezei motoarelor asincrone trifazate prin intercalarea unei rezistenţe variabile în fazele rotorice la motoarele cu rotor bobinat. Acest reglaj este neeconomic însă din cauza pierderilor Lenz-Joule în rezistenţe şi se foloseşte numai pentru reglarea turaţiei în limite restrînse. Un reglaj economic se poate obţine prin modificarea numărului de poli. S-a văzut că turaţia cîmpului magnetic învîrtitor este invers

proporţională cu numărul perechilor de poli. În consecinţă, printr-o schimbare a numărului de poli se schimbă turaţia de sincronism, deci şi turaţia rotorului. Schimbarea numărului de poli necesită însă un întreruptor special şi are drept consecinţă complicaţii de ordin constructiv. S-a văzut de asemenea că turaţia de sincronism este proporţională cu frecvenţa reţelei de alimentare. În consecinţă, dacă curentul de alimentare al motorului ar trece în prealabil printr-un *convertizor de frecvenţă* (dispozitiv care poate schimba frecvenţa), s-ar putea obţine de asemenea un reglaj al turaţiei, dar acest procedeu este costisitor şi complicat.

9. Utilizarea motoarelor asincrone trifazate

Aceste motoare se întîlnesc cel mai des în practică, dat fiind că sînt robuste, simple şi ieftine (în special cele în scurtcircuit) şi au un cuplu de pornire destul de mare (în special cele cu rotor bobinat şi inele, precum şi cele în dublă colivie). Ele se utilizează în general în cazurile unde nu este nevoie de un reglaj al turaţiei, dat fiind că turaţia acestor motoare este practic constantă. Aceste motoare se întîlnesc în special la acţionarea maşinilor-unelte, ascensoarelor, ventilatoarelor, pompelor, compresoarelor şi a altor utilaje industriale. Inventarea motoarelor asincrone se datoreşte inginerului rus Dolivo-Dobrovolski.

În R.P.R. se fabrică toate tipurile de motoare asincrone. În figura 14—22 se arată, de exemplu, un asemenea motor tip A de 28 kW, 1 450 rot/min, în scurtcircuit.

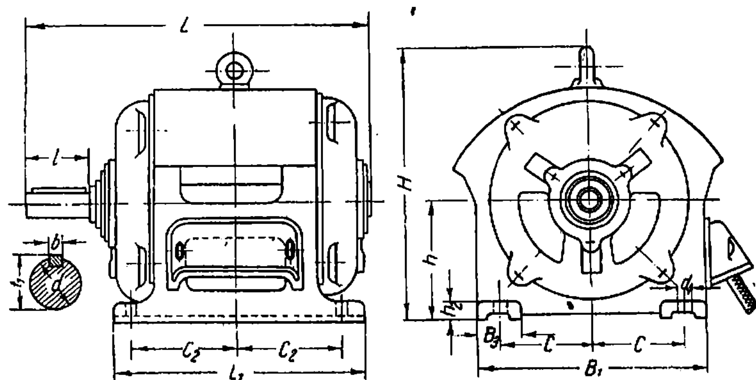


Fig. 14-22. Motor asincron trifazat tip A în scurtcircuit, 28 kW 1 450 rot/min, fabricaţie R.P.R.
B_1 = 455; B_2 = 85; b = 16; C = 185; C_2 = 200; d = 55; d_4 = 24; H = 538; h = 236; h_2 = 40; L = 665; L_1 = 480; l = 110; t_1 = 60.

10. Motorul asincron monofazat

Acest motor are rotorul în colivie sau bobinat, iar statorul are un singur bobinaj, legat prin cele două capete la o rețea monofazată de alimentare. În statorul acestui motor nu se mai poate produce un cîmp magnetic învîrtitor, ci unul fix în spațiu. După cum se știe, un asemenea cîmp magnetic alternativ se poate descompune în două cîmpuri magnetice învîrtitoare egale, care se rotesc în sensuri contrare. Dacă motorul are p perechi de poli, viteza unghiulară de rotație a celor două cîmpuri este ω/p, în care ω este pulsația rețelei de alimentare.

Fiecare cîmp magnetic învîrtitor dă naștere la cîte un cuplu motor. În figura 14—23, curba *1* reprezintă variația cuplului motor în funcție de viteză, corespunzător unui cîmp magnetic învîrtitor, iar curba *2*, variația cuplului corespunzător cîmpului magnetic învîrtitor, care se rotește în sens invers. Cuplurile curbei *2* trebuie socotite de sens contrar cuplurilor care corespund curbei *1*. La pornire, cînd turația rotorică este nulă, cele două cupluri fiind egale și de sens contrar, rotorul va rămîne nemișcat. În consecință, *motorul asincron monofazat nu poate porni singur.*

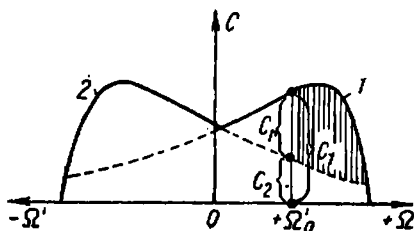


Fig. 14-23. Cuplul motorului asincron monofazat.

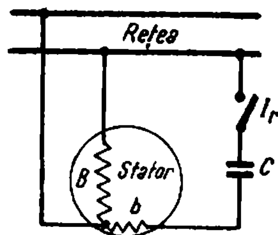


Fig. 14-24. Motor asincron monofazat cu bobinaj auxiliar.

Dacă printr-un mijloc oarecare i se imprimă rotorului o viteză unghiulară oarecare $+\Omega'_0$, se vede în figura 14—23 că, la această viteză, corespunde un cuplu motor C_1 (curba *1*) mai mare și de un sens, precum și un cuplu motor C_2 (curba *2*) mai mic și de sens contrar. Rotorul va continua deci singur să se rotească mai departe, sub influența cuplului rezultat:

$$C_r = C_1 - C_2.$$

La motoarele mici, impulsul de pornire se poate da chiar cu mîna. La motoarele mai mari, se utilizează însă dispozitive speciale. În statorul motorului se prevede un bobinaj auxiliar, care este astfel așezat în spațiu față de bobinajul normal, încît dacă aceste două bobinaje sînt parcurse de doi curenți bifazați, să se producă un cîmp magnetic învîrtitor, ca și la motorul asincron trifazat. În figura 14—24, statorul motorului conține bobinajul principal B și bobinajul auxiliar b, menționate mai înainte. În serie cu bobinajul b se găsește condensatorul C (sau o inductanță L). La pornire, se închide întreruptorul I_r. Deoarece în bobinajul b se găsește un condensator, curentul din acest bobinaj se găsește decalat cu un unghi de aproximativ $\pi/2$ înaintea curentului din bobinajul B. Dacă în bobinajul auxiliar b, în locul condensatorului C ar fi fost o inductanță L, curentul din bobinajul b ar fi fost decalat cu un unghi de aproximativ $\pi/2$ în urma curentului din bobinajul B. În ambele cazuri, cei doi curenți din bobinajele B și b constituie un sistem asemănător cu doi curenți bifazați, astfel că se produce în stator un cîmp magnetic învîrtitor, cu un anumit sens de rotație, iar motorul pornește singur ca și un motor asincron trifazat. La sfîrșitul perioadei de pornire, se deschide întreruptorul I_r, iar motorul funcționează în continuare ca motor monofazat.

Motoarele asincrone monofazate se întrebuințează destul de rar, deoarece au un randament mai scăzut decît motoarele asincrone trifazate și afară de aceasta, la putere egală, sînt mai costisitoare și au cuplul de pornire (cu bobinaj auxiliar) mai mic decît la motorul asincron trifazat. De obicei se întrebuințează pentru puteri mici sau acolo unde nu există decît rețea monofazată.

11. Generatorul asincron

În figura 14—25 s-a desenat în trăsături punctate caracteristica mecanică a unui motor asincron trifazat. În regiunea de funcționare stabilă, pe măsură ce sarcina motorului (cuplul rezistent) scade, cuplul motor scade și el, iar viteza Ω' a rotorului se apropie din ce în ce mai mult de turația de sincronism:

$$\Omega = \frac{\omega}{p}. \tag{14.3}$$

Se poate presupune că, la un moment dat, turația rotorului a atins turația de sincronism, iar cuplul motor s-a anulat complet.

Dacă în această situație se aplică *dinafară* un cuplu motor asupra mașinii (de exemplu, prin intermediul unui motor cu ardere internă), atunci turația rotorului depășește turația de sincronism, iar mașina din motor se transformă în *generator* de curent, cuplul electromagnetic al mașinii devenind din cuplu motor, *cuplu rezistent*; curba de variație a cuplului este în continuarea curbei în trăsături pline din figura 14—25, dar sub axa absciselor, după cum rezultă din figură. Mașina asincronă a devenit, din motor asincron, *generator asincron*.

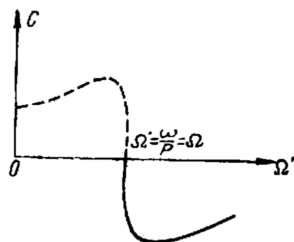


Fig. 14–25. Caracteristica generatorului asincron.

Generatorul asincron este foarte simplu din punct de vedere constructiv și poate fi adaptat ușor la comandă automată. Prezintă însă două dezavantaje importante:

— rețeaua pe care debitează curent trebuie să fie alimentată și de alte generatoare;

— înrăutățește factorul de putere al rețelei.

Pentru motivele arătate, generatorul de curent alternativ care se întîlnește normal în centralele electrice nu este generatorul asincron, ci generatorul *sincron* sau *alternatorul*, care va fi studiat în capitolul următor.

Capitolul XV

Maşini sincrone

1. Principiul de funcţionare a generatorului sincron

Generatorul sincron sau alternatorul este o maşină electrică, care serveşte la producerea curentului alternativ. El este constituit dintr-o parte fixă, numită stator şi o parte mobilă, numită rotor. Statorul generatorului sincron este realizat la fel ca şi statorul motorului asincron. În figura 15—1 s-a reprezentat schematic construcţia unui generator sincron. Pe suprafaţa interioară a statorului *S* se găsesc crestăturile în care se aşază conductoarele. În golul cilindric al statorului se găseşte rotorul *R*, numit şi *roată polară*. Rotorul este format dintr-o serie de poli magnetici *p*, care creează cîmpul magnetic al maşinii.

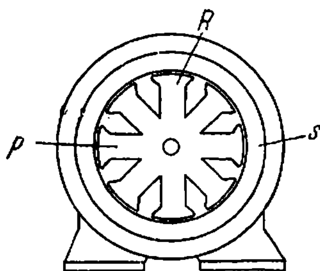


Fig. 15-1. Schema constructivă simplificată a generatorului sincron.

Rotorul generatorului trebuie să fie învîrtit cu ajutorul unui motor primar oarecare (motor Diesel, motor cu explozie, turbină cu apă, turbină cu abur etc.) cuplat direct sau prin curea.

Cele mai frecvente sînt generatoarele trifazate, care au statorul trifazat. Cele trei bobinaje ale statorului se pot lega fie în triunghi, fie în stea, ca şi la motorul asincron trifazat.

Polii rotorici sînt astfel realizaţi, încît după un pol nord urmează un pol sud, iar după un pol sud urmează un pol nord. Ei creează în întrefierul dintre stator şi rotor un cîmp magnetic. Dacă rotorul este învîrtit cu o anumită viteză, se va produce un cîmp magnetic învîrtitor, ale cărui linii de forţă „taie“ conductoarele bobinajului statoric.

Cele trei bobinaje statorice se comportă asemănător cu cele trei spire din figura 8—1 care se învîrtesc într-un cîmp magnetic fix, astfel încît în spire apar trei forțe electromotoare trifazate. La generator situația este inversată: spirele sînt fixe, iar cîmpul magnetic se învîrtește. Rezultatul este însă același, adică în cele trei bobinaje se produc prin inducție trei forțe electromotoare trifazate.

Dacă roata polară are $2p$ poli și este rotită cu o turație de n_s rot/s, înseamnă că prin fața unei spire statorice vor trece într-o secundă $p \cdot n_s$ perechi de poli. Trecerea unei singure perechi de poli prin fața unei spire statorice induce în această spiră o forță electromotoare alternativă. Trecerea a pn_s perechi de poli, într-o secundă, în fața spirei, face ca forța electromotoare indusă în spiră să aibă o frecvență de pn_s perioade pe secundă (sau Hz). În consecință, frecvența forței electromotoare dintr-o spiră a statorului și deci din bobinajele statorice este:

$$f = p\, n_s = \frac{p\, n}{60}, \qquad (15.1)$$

unde prin n s-a notat numărul de rotații pe minut. Relația aceasta arată legătura dintre numărul de perechi de poli, turația rotorului și frecvența produsă de alternator.

În figura 15—2 se arată felul cum se leagă electric între ele și la rețea cele trei bobinaje statorice ale unui generator trifazat. Figura 15—2,*a* reprezintă legarea în stea, iar figura 15—2,*b*, legarea în triunghi. În cazul legării în stea, rețeaua care pleacă de la generator poate fi cu conductor neutru (trasat punctat în figură) sau fără conductor neutru. Dacă generatorul produce curent electric în circuitul de utilizare, în fazele statorice iau naștere trei curenți trifazați cu o pulsație ω dată de:

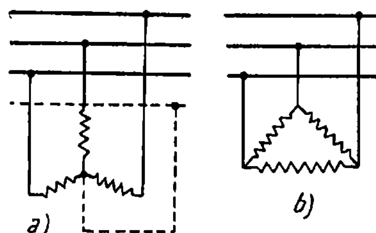


Fig. 15-2. Legarea la rețea a generatorului trifazat:
a — legarea în stea; *b* — legarea în triunghi.

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \frac{p\, n}{60} = 2\pi\, p\, n_s. \qquad (15.2)$$

Ca și în statorul motorului asincron trifazat, cei trei curenți trifazați produc trei cîmpuri magnetice trifazate, care dau naștere

la un cîmp magnetic învîrtitor, care se roteşte cu viteza unghiulară ω/p. Dar:

$$\frac{\omega}{p} = \frac{2\pi\, p\, n_s}{p} = 2\pi\, n_s. \qquad (15.3)$$

Expresia $2\pi\, n_s$ reprezintă, în rad/s, viteza unghiulară a rotorului şi a cîmpului învîrtitor rotoric. Rezultă că atît cîmpul învîrtitor statoric, cît şi cîmpul învîrtitor rotoric se învîrtesc cu aceeaşi turaţie, care este şi turaţia rotorului. Deoarece rotorul generatorului se învîrteşte cu aceeaşi turaţie (în acelaşi timp) ca şi cîmpul magnetic învîrtitor, această maşină este numită *sincronă*.

Pentru a avea un cîmp magnetic puternic, generatorul are rotorul format din *electromagneţi*, iar nu din magneţi permanenţi. Curentul folosit pentru alimentarea bobinajelor polilor este curentul *continuu* şi se numeşte *curent de excitaţie*. De obicei, curentul de excitaţie este produs de o maşină de curent continuu (maşinile de curent continuu vor fi studiate în capitolul următor), aşezată pe acelaşi ax cu alternatorul, numită *excitatoare*. În acest caz, generatorul se numeşte cu *excitaţie proprie*.

Există şi generatoare sincrone cu excitaţie proprie, la care curentul de excitaţie se obţine prin transformarea unei părţi din curentul alternativ produs de generator, în curent continuu, cu ajutorul unui *redresor* (aparat care se va studia la capitolul XVIII).

Dacă excitaţia se ia de la o sursă separată, generatorul se numeşte *cu excitaţie separată*.

În capitolul VII, paragraful 1 s-a arătat că în cazul cînd o spiră se învîrteşte într-un cîmp magnetic, valoarea maximă a forţei electromotoare indusă în spiră este:

$$E_m = \omega\, \Phi_m$$

în care:

ω este pulsaţia forţei electromotoare din spiră;

Φ_m — fluxul magnetic maxim, care străbate spira.

Valoarea eficace a acestei forţe electromotoare este:

$$E = \frac{\omega}{\sqrt{2}}\, \Phi_m.$$

Formula poate fi utilizată şi la determinarea valorii eficace a forţei electromotoare care ia naştere în fiecare fază statorică a generatorului. Trebuie însă să se ţină seama că la generator o fază statorică are un număr s de spire, astfel încît forţa electro-

motoare din bobinajul unei faze este de s ori mai mare decît aceea dintr-o singură spiră. De asemenea, în cazul generatorului, în locul fluxului magnetic Φ_m trebuie să se considere fluxul Φ care corespunde unui pol rotoric. În felul acesta, formula pentru generator devine:

$$E = s \frac{\omega}{\sqrt{2}} \Phi.$$

S-a arătat că pulsaţia, în cazul generatorului, este:

$$\omega = \frac{2\pi\, p\, n}{60},$$

astfel încît:

$$E = s \cdot \frac{2\,\pi\, p\, n}{\sqrt{2}\; 60} \Phi.$$

Din figura 14—11, care reprezintă bobinajele statorice ale unui motor asincron trifazat, identice cu bobinajele statorice ale unui generator trifazat, se vede că fiecare spiră este constituită din cîte două conductoare *active* (care sînt tăiate de liniile de forţă) legate între ele, fie în faţă, fie în spate. Dacă se notează cu N numărul de conductoare active ale unei faze, rezultă:

$$E = \frac{N \cdot 2\pi\, p\, n}{2\sqrt{2}\; 60} \Phi = \frac{\pi p}{\sqrt{2}\; 60} N\, n\, \Phi$$

şi dacă se notează:

$$\frac{\pi\, p}{\sqrt{2} \cdot 60} = k$$

se obţine:

$$E = k\, N\, n\, \Phi, \qquad (15.4)$$

adică: *valoarea eficace a forţei electromotoare, care se produce în fiecare fază statorică, este proporţională cu numărul de conductoare ale fazei, cu viteza rotorului şi cu fluxul magnetic al unui pol rotoric.*

Rotorul generatorului este totdeauna învîrtit de către motorul primar cu o viteză constantă, pentru ca şi frecvenţa curentului produs să rămînă constantă. De asemenea, numărul de poli şi numărul de conductoare rămîne constant. Singura mărime din expresia forţei electromotoare E care poate fi variată este valoarea fluxului magnetic Φ. Într-adevăr, acest flux magnetic depinde de valoarea curentului de excitaţie. În consecinţă, printr-o variaţie a curentului de excitaţie, se poate varia fluxul Φ, şi deci se poate

obține un reglaj al forței electromotoare *E* produsă de fiecare fază statorică.

În timpul funcționării generatorului, curentul produs trebuie să aibă valori diferite, în funcție de numărul și de puterea consumatorilor. Cînd curentul crește, în bobinajele statorice se produce o cădere de tensiune mai mare, ceea ce face ca tensiunea la bornele generatorului să scadă. Pentru a menține constantă această tensiune, trebuie să se mărească forța electromotoare *E*. În acest scop se mărește fluxul magnetic Φ prin mărirea curentului de excitație. Cînd curentul absorbit scade, se micșorează curentul de excitație, pentru ca tensiunea la bornele generatorului să nu ajungă la valori prea mari. Variația curentului de excitație se obține prin manevrarea unui *reostat de excitație*, introdus în circuitul curentului de excitație.

S-a arătat că pentru a produce energie electrică, generatorul trebuie să fie acționat de un motor, care învîrtește rotorul. Acest motor dă generatorului o anumită energie mecanică, pe care generatorul o transformă în energie electrică.

Energia mecanică este dată generatorului prin intermediul unui *cuplu motor* mecanic de către motorul de antrenare. Curenții care se produc în statorul generatorului se găsesc într-un cîmp magnetic și în consecință asupra curenților se exercită forțe electromagnetice. Conform legii lui Lenz, efectul tinde să se opună cauzei, adică aceste forțe electromagnetice constituie un *cuplu electromagnetic rezistent*, care este de sens contrar cuplului motor. Dacă se neglijează pierderile din generator, cuplul electromagnetic rezistent este egal cu cuplul mecanic motor.

În cazul cînd statorul generatorului are un singur bobinaj, generatorul se numește *monofazat*. În stator se produce prin inducție o singură forță electromotoare monofazată, iar curentul alternativ alimentează o rețea monofazată constituită din două conductoare.

Generatoarele monofazate se întîlnesc rar în practică, deoarece, la putere egală, un generator monofazat este mai costisitor decît un generator trifazat și are un randament mai scăzut.

2. Motorul sincron

Generatorul sincron este o mașină reversibilă, adică poate primi de la o rețea energie electrică, pe care o transformă în energie mecanică la arborele său. În acest caz, statorul se leagă la o rețea electrică. Ca și la motorul asincron trifazat, în interiorul genera-

torului ia naştere un cîmp magnetic învîrtitor, care se roteşte cu viteza unghiulară ω/p, ω fiind pulsaţia reţelei de alimentare, iar p numărul de perechi de poli ai cîmpului. Cîmpul magnetic învîrtitor se comportă ca şi o serie de poli magnetici nord şi sud situaţi succesiv în întrefierul maşinii şi antrenează cu aceeaşi viteză ω/p şi polii magnetici ai rotorului, astfel încît rotorul începe să se învîrtească. Deoarece rotorul se învîrteşte cu aceeaşi viteză de rotaţie ca şi cîmpul magnetic învîrtitor, motorul acesta se numeşte *sincron*. Trebuie observat că ploii cîmpului magnetic învîrtitor nu pot antrena polii magnetici de nume contrar ai rotorului, decît dacă distanţa dintre ploii cîmpului învîrtitor şi polii rotorici rămîne aceeaşi. Numai în acest caz se exercită un cuplu de rotaţie constant ca valoare şi ca sens. La început însă, rotorul motorului sincron este nemişcat, iar cîmpul magnetic învîrtitor al statorului se roteşte. Polii nord, de exemplu, ai cîmpului învîrtitor se găsesc cînd înaintea, cînd îndărătul polilor sud rotorici. Din această cauză se vor exercita forţe de atracţie asupra polilor rotorici, cînd într-un sens cînd în sensul contrar, astfel încît rotorul va rămîne nemişcat. Rezultă că motorul sincron nu poate porni singur.

Este necesar ca la început rotorul să fie adus printr-un mijloc oarecare la o viteză egală cu viteza unghiulară ω/p de rotaţie a cîmpului magnetic învîrtitor. Se spune că trebuie să se aducă rotorul motorului la *sincronism*. Cînd rotorul este adus la sincronism, polii săi se găsesc la distanţă invariabilă faţă de polii cîmpului magnetic învîrtitor, iar forţele de atracţie asupra polilor rotorici rămîn constante şi de acelaşi sens, astfel încît rotorul continuă să se rotească singur mai departe şi maşina funcţionează ca motor sincron. În acest caz, cuplul motor este cuplul electromagnetic care se exercită între cîmpul magnetic învîrtitor şi polii rotorici, iar cuplul rezistent este cuplul la arbore datorit, de exemplu, unei pompe care trebuie acţionată de motorul sincron. De data aceasta, cuplul rezistent este un cuplu mecanic.

Aducerea motorului sincron la sincronism, în perioada de pornire, se poate face cu un motor auxiliar. Un alt mijloc constă în a porni motorul sincron ca motor asincron, ceea ce se numeşte *pornire în asincron*. Pentru aceasta se leagă în scurtcircuit bobinajul de excitaţie de pe rotor şi maşina se comportă ca un motor asincron în scurtcircuit, putînd deci porni singură, însă cu un cuplu redus. Cînd viteza de rotaţie a rotorului s-a apropiat cît mai mult de viteza de sincronism, se lasă să treacă curentul de excitaţie (curent continuu) în bobinajul polilor rotorici şi motorul „prinde" ca motor sincron, putînd da un cuplu motor normal.

3. Utilizarea maşinilor sincrone

Generatorul sincron este maşina care se întîlneşte în mod obişnuit în centralele electrice de curent alternativ. În mod normal, se utilizează generatoare trifazate cu o frecvenţă de 50 Hz. În cazuri speciale, de exemplu pentru tracţiunea electrică cu curent monofazat de frecvenţă $16\frac{2}{3}$ Hz, se folosesc generatoare monofazate cu frecvenţa $16\frac{2}{3}$ Hz.

Din cauza dificultăţilor de pornire semnalate în paragraful precedent şi din cauza faptului că nu suportă suprasarcini importante (ca motorul asincron), motorul sincron este mai puţin utilizat în practică ca motor propriu-zis. Se foloseşte însă ca motor funcţionînd în gol (fără a avea o sarcină la arbore), pentru ameliorarea factorului de putere al unei reţele electrice. Într-adevăr, dacă un astfel de motor este *supraexcitat*, adică dacă curentul de excitaţie depăşeşte o anumită valoare, el are proprietatea de a mări factorul de putere al reţelei. Se spune, în acest caz, că motorul îndeplineşte funcţia *de compensator sincron.*

4. Construcţia maşinilor sincrone

Figura 15—3 reprezintă aspectul exterior al unui generator sau motor sincron. În dreapta se vede excitatoarea, care este mon-

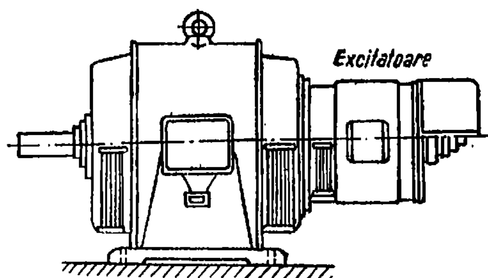


Fig. 15-3. Generator sincron.

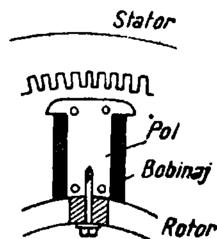


Fig. 15-4. Montarea unui pol pe rotor.

tată pe acelaşi ax cu maşina propriu-zisă. Cînd axul maşinii se învîrteşte, el pune în mişcare şi excitatoarea, care produce curentul continuu necesar excitaţiei maşinii sincrone. În stînga se

vede capătul de arbore liber. Dacă maşina este generator, pe acest capăt de arbore se montează dispozitivul de cuplare (roată de curea sau cuplaj direct) cu motorul care antrenează generatorul. Dacă maşina funcţionează ca motor sincron, capătul de ax se lasă liber (cînd motorul serveşte drept compensator sincron) sau are montat dispozitivul de cuplare cu maşina care trebuie să fie antrenată.

Rotorul unei maşini sincrone este constituit în general dintr-un butuc central din oţel, pe care sînt fixaţi polii, astfel cum este indicat în figura 15—4. Pentru a se evita efectul dăunător al curenţilor turbionari (care se produc la micile deplasări ale polilor faţă de cîmpul învîrtitor statoric), polii sînt executaţi din tole de oţel izolate între ele şi asamblate cu buloane. Extremitatea polilor dinspre stator are o talpă, care permite o repartizare bună a liniilor de forţă produse de poli. Bobinajul din jurul polilor este realizat din sîrmă de cupru izolată.

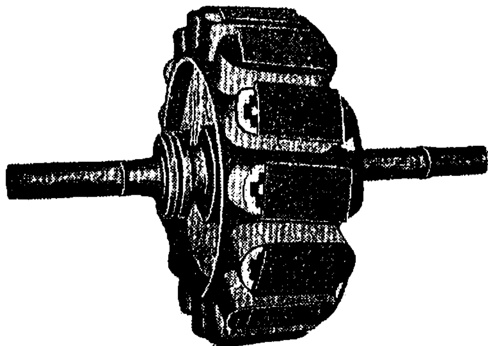


Fig. 15-5. Rotorul generatorului sincron.

În figura 15—5 este reprezentat aspectul exterior al unui rotor. În stînga se văd cele două inele metalice care se învîrtesc solidar cu rotorul şi care servesc la aducerea curentului continuu de excitaţie.



Fig. 15-6. Rotor de turbogenerator.

În cazul cînd un generator este acţionat de o turbină cu abur, prin cuplare directă, turaţia lui este mare (de exemplu 3 000 rot/min) pentru a corespunde turaţiei mari pe care o are de obicei o astfel de turbină. Un asemenea generator, numit *turbogenerator*, nu are poli aparenţi, din motive de ordin constructiv; ei se formează prin bobinarea înfăşurărilor rotorice într-o serie de crestături prevăzute la periferia rotorului. În figura 15—6 este reprezentat un asemenea rotor de turbogenerator.

Axul maşinii sincrone este de obicei orizontal. Sînt însă cazuri speciale, cînd maşina are axul vertical; acesta este, de

exemplu, cazul generatoarelor cuplate direct cu turbine hidraulice cu ax vertical. În figura 15—7 este reprezentată o secţiune printr-o centrală hidroelectrică echipată cu un grup electrogen

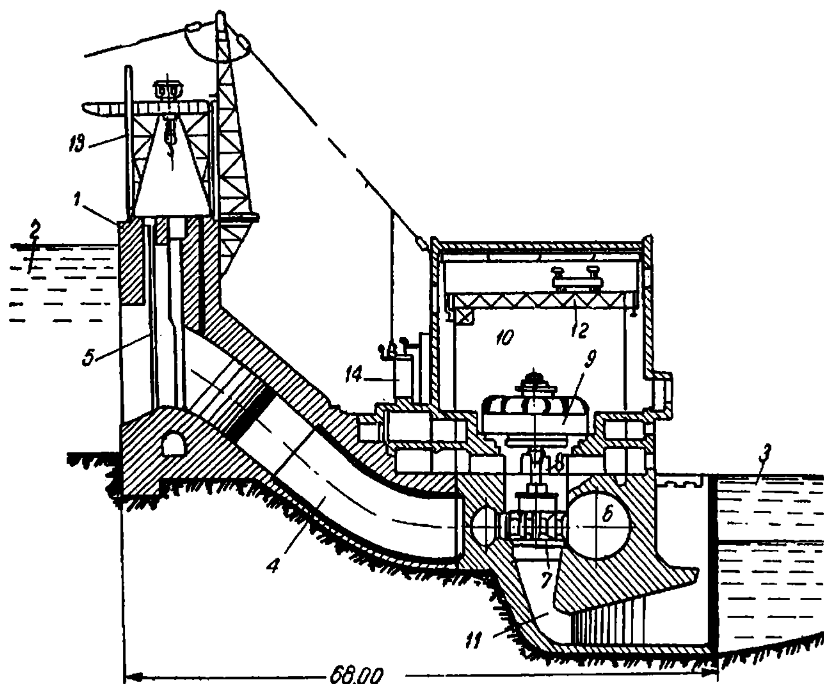


Fig. 15-7. Generator sincron cu ax vertical într-o centrală hidroelectrică: 1 — baraj; 2 — nivelul apei amonte; 3 — nivelul apei aval; 4 — canal de aducţie; 5 — vane de închidere a apei; 6 — camera turbinei hidraulice cu ax vertical; 7 — turbina hidraulică; 8 — arborele turbinei; 9 — generator sincron cu ax vertical; 10 — sala maşinilor; 11 — canal de fugă; 12 — pod rulant; 13 — macara pentru vană; 14 — transformator ridicător; 15 — linie de înaltă tensiune.

constituit dintr-o turbină hidraulică cu ax vertical, cuplată direct cu un generator sincron, cu ax vertical, montat deasupra turbinei.

Statorul unei maşini sincrone este construit din tole de oţel izolate între ele (pentru a se reduce curenţii turbionari) şi prinse cu ajutorul unor buloane. Acest stator este fixat la o carcasă turnată sau sudată.

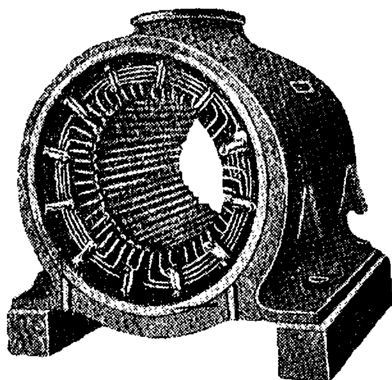


Fig. 15-8. Statorul uuni generator sincron.

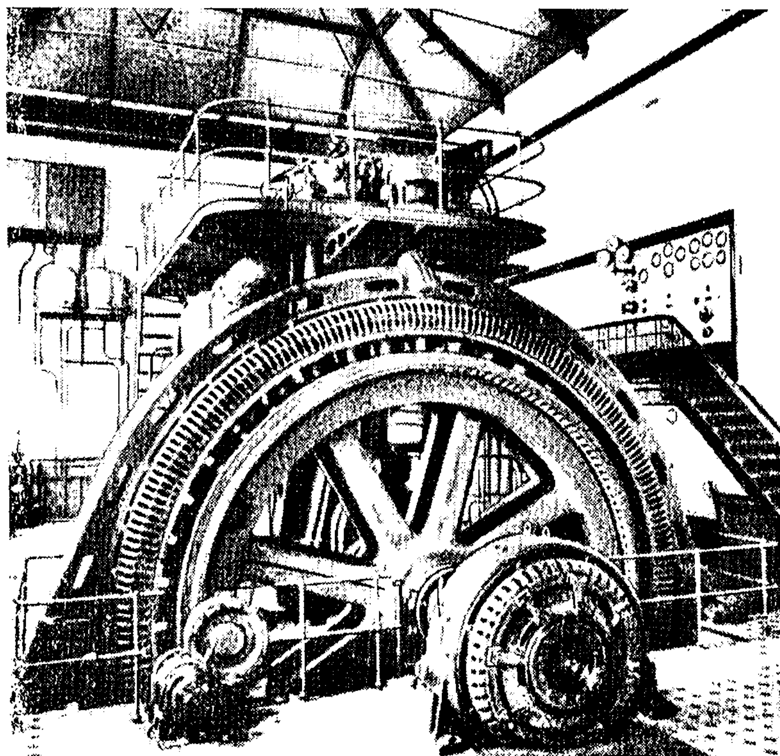


Fig. 15-9. Generator sincron cuplat direct cu motor Diesel.

În figura 15—8 este reprezentat statorul unui generator sincron de putere mijlocie. Pe suprafața interioară a statorului sînt prevăzute crestăturile în care se montează conductoarele care formează bobinajele statorice. În cazul cînd crestăturile sînt „deschise" la partea spre întrefier, bobinele care constituie bobinajul statoric se confecționează separat pe șabloane și apoi se introduc în crestături.

Figura 15—9 reprezintă un generator cuplat direct cu un motor Diesel. În față se vede excitatoarea alternatorului.

În R.P.R. se construiesc în mod curent diferite tipuri de generatoare sincrone trifazate pentru tensiunea nominală de 400/231 V și puteri de 50,75 și 300 kVA. Aceste generatoare pot funcționa și ca motoare sincrone. De asemenea, în R.P.R. se construiește în mod curent un generator trifazat de 400/231 V și o putere de 18 kVA destinat să fie acuplat cu un motor semi-Diesel de 23 CP și putînd fi utilizat în special la S.M.T.-uri, gospodării agricole, mici șantiere etc.

5. Mersul în paralel al generatoarelor sincrone

Într-o centrală electrică funcționează de obicei mai multe generatoare sincrone. În figura 15—10 sînt reprezentate în mod schematic două grupuri electrogene notate *I* și *II* dintr-o centrală electrică, care debitează în comun pe aceleași *bare colectoare B*. Fiecare grup electrogen este compus dintr-un motor *M* și un generator *G*. De la barele colectoare pleacă circuitele *C*, care alimentează o rețea electrică. Această rețea poate fi alimentată și de alte centrale electrice. Se spune că cele două generatoare *G* funcționează *în paralel* pe barele colectoare; de asemenea, pot funcționa în paralel și mai multe centrale *interconectate* la aceeași rețea.

Se consideră că la un moment dat funcționează numai grupul *I*, generatorul G_1 fiind legat la bare prin intermediul întreruptorului I_1 care este închis. Al doilea generator G_2 este deconectat de la bare cu ajutorul întreruptorului I_2, care este deschis. Închizînd întreruptorul I_2, generatorul grupului *II* debitează și el pe barele *B*, adică generatoarele G_1 și G_2 au fost puse în paralel.

Pentru a se putea pune în paralel generatorul G_2, acesta trebuie să îndeplinească următoarele condiții de bază:

a) să aibă la borne aceeași tensiune ca și tensiunea barelor;

b) frecvenţa tensiunii generatorului să fie egală cu frecvenţa la bare;

c) tensiunea generatorului să fie în fază cu tensiunea barelor.

Tensiunea la bornele generatorului se măsoară cu voltmetrul V_a, iar la bare, cu voltmetrul V_b (fig. 15-11). Trebuie ca motorul de antrenare să aducă generatorul cît mai aproape de turaţia lui normală. După aceasta se manevrează *reostatul de excitaţie*, care se găseşte intercalat în circuitul de excitaţie, astfel încît tensiunea generatorului să fie egală cu tensiunea la bare.

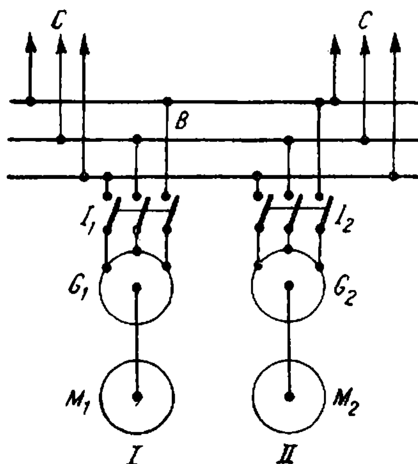


Fig. 15-10. Două grupuri electrogene într-o centrală.

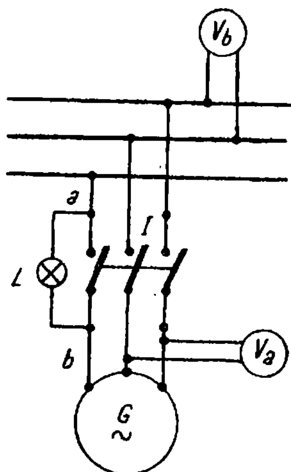


Fig. 15-11. Generator sincron prevăzut pentru mers în paralel.

Pentru a se îndeplini ultimele două condiţii de punere în paralel, numite *condiţii de sincronism*, este necesar un reglaj mult mai precis al turaţiei. Turaţia motorului, care antrenează generatorul, poate fi reglată fie manual, fie automat. Reglajul automat se face cu ajutorul unui *regulator automat de turaţie*, a cărui construcţie depinde de felul motorului. Funcţionarea acestui regulator este în principiu următoarea:

Dacă generatorul funcţionează cu o anumită turaţie şi la un moment dat sarcina generatorului creşte, motorul trebuie să învingă un cuplu rezistent mai mare, ceea ce are ca efect o scădere a turaţiei. Scăderea turaţiei face ca regulatorul automat să intervină acţionînd asupra agentului motor (abur, apă, combustibil) în sensul măririi admisiunii; aceasta are ca efect o creştere a puterii motorului şi deci o creştere a turaţiei. Dacă sarcina generatorului scade, motorul are de învins un cuplu rezistent mai mic, ceea ce are ca efect o creştere a turaţiei. Creşterea turaţiei face ca regulatorul să acţioneze asupra agentului motor, micşorînd admisiunea, ceea ce produce o micşorare a puterii motorului şi deci o scădere a turaţiei.

La punerea în paralel, generatorul funcţionează fără sarcină (nu produce curent) şi este necesar un dispozitiv sensibil care, acţionat la comandă, să

mărească sau să micşoreze admisia, pentru a realiza un reglaj cît mai precis al turaţiei.

Cînd generatorul funcţionează în gol, forţa electromotoare E este egală chiar cu tensiunea la borne, deoarece căderea de tensiune în statorul generatorului este nulă, neexistînd curent.

Se presupune că această forţă electromotoare a fost adusă cu ajutorul reostatului de excitaţie la valoarea egală cu tensiunea U la bare. Chiar dacă aceste două mărimi sînt egale, după cum rezultă din diagrama din figura 15-12 între vectorii $\bar{E}$ şi $\bar{U}$ există în general un anumit unghi de defazaj α. Deoarece $\bar{E}$ nu are o frecvenţă riguros egală cu frecvenţa tensiunii $\bar{U}$ la bare, unghiul de defazaj α este variabil. Din această cauză, între vectorii $\bar{E}$ şi $\bar{U}$ există o *diferenţă vectorială*, egală cu vectorul $\bar{V}$ şi care variază. Se vede din figură că valoarea maximă a vectorului $\bar{V}$ are loc pentru $\alpha = \pi$, iar valoarea nulă, pentru $\alpha = 0$. Cu cît diferenţa dintre cele două frecvenţe este mai mare, cu atît α şi deci $\bar{V}$ variază mai repede. Acţionînd printr-un dispozitiv de reglaj fin al motorului, se poate obţine ca frecvenţa generatorului să difere foarte puţin de frecvenţa la bare. În această situaţie, α şi $\bar{V}$ variază foarte lent şi dacă în momentul cînd $\alpha = 0$ (concordanţă de fază între $\bar{E}$ şi $\bar{U}$) se închide întreruptorul *1* (fig. 15-11), alternatorul rămîne în paralel la bare.

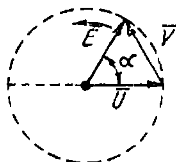


Fig. 15-12. Diagrama vectorială a tensiunii generatorului şi barelor.

Spre a putea cunoaşte momentul indicat pentru închiderea întreruptorului, se foloseşte o *lampă de fază L* arătată în figura 15-11. Lampa se găseşte legată între o bară şi o bornă a generatorului, astfel încît funcţionează pe baza *diferenţei* dintre tensiunea la bare şi la generator, adică tensiunea la bornele lămpii depinde de mărimea vectorului $\bar{V}$ din figura 15-12. Lampa va arde cu o intensitate luminoasă, care variază periodic. Cînd $\alpha = 0$, lampa se stinge ($\bar{V} = 0$), iar cînd $\alpha = \pi$, lampa are strălucirea maximă ($\bar{V}$ este maxim).

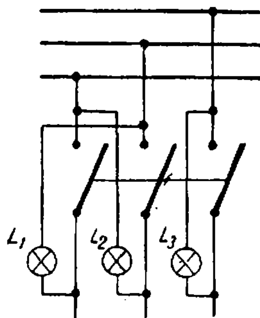


Fig. 15-13. Legarea lămpilor pentru obţinerea focului învîrtitor.

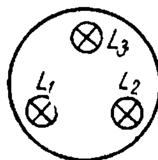


Fig. 15-14. Aşezarea lămpilor pentru obţinerea focului învîrtitor.

Cu cît α variază mai încet, cu atît frecvenţa de stingere şi strălucire maximă este mai mică; dacă într-un interval de timp cînd această frecvenţă este mică, în momentul cînd lampa este stinsă ($\alpha = 0$), se închide întreruptorul I (fig. 15–11), alternatorul este pus în paralel la bare.

În acest moment însă generatorul nu debitează curent (de aceea şi lampa de fază este stinsă), adică nu s-a încărcat cu sarcină. Trebuie, aşadar, după punerea în paralel, să se încarce generatorul, descărcîndu-se eventual celelalte generatoare din centrală. Această încărcare se obţine mărind admisiunea motorului de acţionare a generatorului.

În loc de o singură lampă de fază, se pot monta trei lămpi, cîte una pe fiecare fază; în practică se utilizează frecvent montajul celor trei lămpi în felul arătat în figura 15–13, cînd două lămpi (L_1 şi L_2) sînt legate în cruce. În acest caz, lămpile se aprind şi se sting succesiv într-o anumită ordine. Dacă se aşază cele trei lămpi în vîrfurile unui triunghi echilateral şi se acoperă cu un geam mat (fig. 15–14), se capătă impresia unei lumini care se mişcă circular, adică a unui foc învîrtitor. Cînd focul se învîrteşte într-un anumit sens, maşina se învîrteşte prea repede, iar cînd se învîrteşte în sens invers, maşina se învîrteşte prea încet. Punerea în paralel se face în momentul cînd lampa L_3 se stinge.

La centralele moderne există şi dispozitive automate de punere în paralel.

Capitolul XVI

Mașini de curent continuu

1. Principiul de producere a curentului continuu în generatorul de curent continuu

Se consideră în figura 16—1 un tambur de oțel *T*, care se poate roti în jurul unui ax orizontal *OO'* și se presupune că acest tambur se găsește între cei doi poli *N* și *S* ai unui magnet. Se înfășoară pe tambur un fir conductor izolat. Pe figură, pentru claritate, s-a arătat numai începutul bobinajului, între punctele *1* și *2*; în realitate însă bobinajul trebuie considerat completat, astfel încît să se închidă.

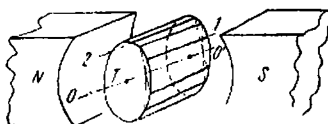


Fig. 16-1. Începutul înfășurării pe tambur la o mașină de curent continuu.

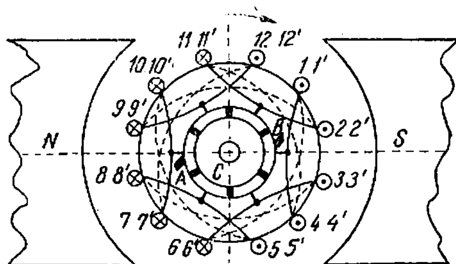


Fig. 16-2. Bobinaj complet pe tambur.

În figura 16—2 este reprezentat același tambur la altă scară și văzut din față. Bobinajul a fost trasat complet, după cum se va explica mai departe. Se notează pentru conductoarele de pe suprafața cilindrică a tamburului astfel: capetele de conductoare din față cu *1*, *2*, *3*,... iar capetele de conductoare din spate cu *1'*, *2'*, *3'*... Bobinajul are următoarea succesiune: *1-4-4'-11'-11-2-2'-9'-9-12-12'-7'-7-10-10'-5'-5-8-8'-3'-3-6-6'-1'-1*.

Dacă se presupune că tamburul se rotește în sensul săgeții, în conductoarele de la periferia tamburului vor lua naștere forțe electromotoare, care vor tinde să producă curenți în sensurile

arătate pe figură şi care corespund şi cu sensurile forţelor electromotoare respective. Sensul curenţilor se află cu ajutorul legii lui Lenz: efectul se opune cauzei. Ca urmare, forţele electromagnetice care se produc formează un cuplu electromagnetic de sens

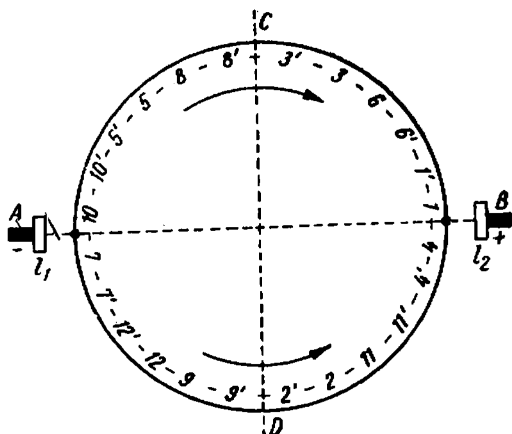


Fig. 16-3. Bobinajul de pe tambur desfăşurat.

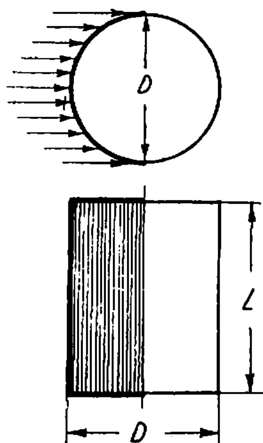


Fig. 16-4. Suprafaţa corespunzătoare fluxului magnetic datorit unui pol.

contrar cuplului ce produce rotaţia tamburului în sensul săgeţii. Această condiţie este îndeplinită, dacă curenţii au sensurile indicate pe figură.

Solidar cu tamburul este fixat un cilindru C, numit colector, alcătuit din lamele din cupru, în formă de sector, izolate între ele şi izolate faţă de tambur şi de ax. Spirele sînt legate la lamelele colectorului. Două perii conductoare de cărbune, A şi B, *fixe în spaţiu* freacă în mod permanent pe colector. Periile sînt aşezate pe direcţia axei polilor. Pe figură s-au desenat puţin deplasate faţă de această axă, pentru a face desenul mai clar.

În figura 16—3 s-a considerat întregul bobinaj de pe tambur, desfăşurat. S-au notat extremităţile conductoarelor de pe suprafaţa cilindrică a tamburului cu aceleaşi cifre ca şi în figura 16—2. Cu l_1 şi l_2 s-au notat cele două lamele ale colectorului, pe care freacă periile, în momentul considerat. Sensul săgeţilor din figura 16—3 arată sensul forţelor electromotoare ce iau naştere din cauza rotirii tamburului.

În realitate, bobinajul din figura 16—2 trebuie presupus cu un număr foarte mare de conductoare pe suprafaţa cilindrică a

tamburului. De asemenea, se presupune că tamburul se învîrtește suficient de repede pentru ca, după un interval de timp t_0, foarte mic, fiecare conductor să ia locul conductorului precedent. În acest caz, după fiecare interval de timp t_0, forța electromotoare între periile A și B va avea aceeași valoare. Deoarece intervalele de timp t_0 sînt foarte mici, iar variația forței electromotoare în aceste intervale este și ea foarte mică, această forță electromotoare E poate fi considerată că își păstrează aceeași valoare, adică este o forță electromotoare *continuă*.

Dacă se presupune că diametrul tamburului este D, iar lungimea sa L, suprafața sa cilindrică străbătută de fluxul magnetic Φ al polului N sau S este (fig. 16—4): $S = \frac{\pi D L}{2}$.

Inducția magnetică medie pe această suprafață va fi:

$$B = \frac{\Phi}{S} = \frac{\Phi}{\frac{\pi D L}{2}} = \frac{2\Phi}{\pi D L}.$$

Dacă tamburul are o turație de n rot/min, respectiv $n/60$ rot/s, viteza de deplasare a unui punct de pe periferia tamburului, deci viteza de deplasare a oricărui conductor, este:

$$v = \frac{\pi D n}{60}.$$

Forța electromotoare, indusă într-un conductor, este după cum se știe:

$$e = BLv = \frac{2\Phi}{\pi D L} L \frac{\pi D n}{60} = 2\Phi \frac{n}{60}.$$

Forța electromotoare totală E între periile A și B (fig. 16—3) este egală cu forța electromotoare din fiecare ramură, deoarece ramurile ACB și ADB sînt în paralel. Dacă N este numărul total al conductoarelor de pe tambur, pe fiecare ramură sînt $N/2$ conductoare. În consecință, forța electromotoare continuă între periile A și B este:

$$E = \frac{N}{2} e = N \frac{n}{60} \Phi = N n_s \Phi, \qquad (16.1)$$

în care n_s este turația, în rot/s.

Această relaţie a forţei electromotoare este valabilă pentru cazul cînd în jurul tamburului se găsesc 2 poli. Dacă în general, sînt 2 p poli şi 2 a ramuri în paralel, expresia forţei electromotoare devine:

$$E = \frac{p}{a} N n_s \Phi. \qquad (16.2)$$

Rezultă *că forţa electromotoare continuă care se produce este proporţională cu numărul de conductoare N, cu turaţia n_s şi cu fluxul magnetic polar Φ.*

Dacă fluxul magnetic Φ se măsoară în weberi, forţa electromotoare se obţine în volţi.

Dispozitivul descris mai înainte este un *generator de curent continuu*, deoarece între periile A şi B se poate lega un circuit de utilizare, care să fie alimentat cu curent continuu. Maşina se numeşte şi *dinam*.

Este de observat că deşi forţa electromotoare dintre perii este continuă totuşi în fiecare conductor în parte, forţa electromotoare este *alternativă*. Într-adevăr, conductoarele formează, două cîte două, o spiră, care se roteşte într-un cîmp magnetic fix în spaţiu. Se ştie însă că, în acest caz, în spiră ia naştere o forţă electromotoare de inducţie alternativă.

În figura 16–5 este reprezentat simplificat un generator de curent continuu. Pentru ca fluxul magnetic inductor să fie cît mai puternic, polii sînt înfăşuraţi cu bobinaje, prin care trece un curent continuu numit *curent de excitaţie*. Polii magnetici sînt fixaţi de o carcasă fixă de oţel, care are forma unui cilindru gol. Între poli se poate roti tamburul, pe care se găseşte înfăşurat un bobinaj asemănător aceluia din figura 16—2. În figura 16—5 se observă şi colectorul C.

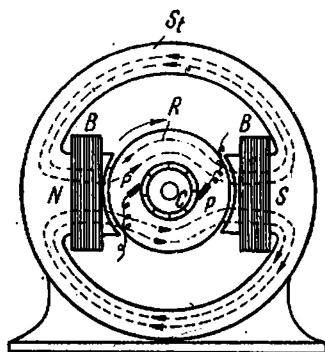


Fig. 16-5. Schema constructivă a generatorului de curent continuu (dinamului).

Părţile principale ale unui generator de curent continuu sînt, aşadar, următoarele:

a) O parte fixă S_t (statorul) cu polii magnetici N şi S, care produc fluxul magnetic şi poartă numele de *inductor*. Maşina poate fi bipolară (cu 2 poli), tetrapolară (cu 4 poli), hexapolară (cu 6 poli) etc. În jurul polilor se găseşte bobinajul B de excitaţie.

b) O parte mobilă R (rotorul), în bobinajul căreia se induce o forță electromotoare și care se numește *indus*. Indusul este rotit prin cuplaj direct sau prin roată de curea, de către un motor primar (Diesel, cu benzină, turbină etc.).

c) Un cilindru cu lamele, care se învîrtește o dată cu indusul, numit *colector* (C).

d) Periile P de cărbune, care culeg curentul de la colector și îl trimit în circuitul de utilizare.

Curentul de excitație poate fi produs fie de o sursă separată (de exemplu o baterie de acumulatoare, un alt generator), fie de însuși generatorul de curent continuu. În primul caz, generatorul se numește cu *excitație separată* sau *independentă*, iar în al doilea caz, cu *excitație proprie* sau cu *autoexcitație*.

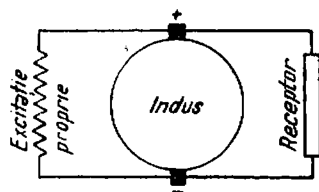


Fig. 16-6. Schema electrică simplificată a generatorului de curent continuu (dinamului) cu excitație separată.

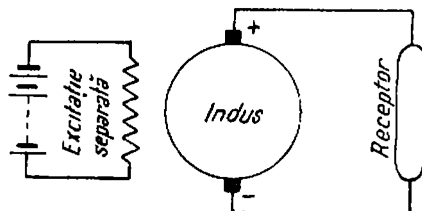


Fig. 16-7. Schema electrică a unui generator de curent continuu (dinam) cu excitație proprie.

În figura 16—6 este reprezentată schema unui generator cu excitație separată, iar în figura 16—7, schema unui generator cu excitație proprie.

În cazul unui generator cu excitație separată, producerea curentului de excitație și deci a fluxului magnetic inductor nu depinde de curentul produs de generator. Dacă generatorul este cu excitație proprie, curentul de excitație este produs chiar de generator. Cînd un asemenea generator începe să funcționeze, nu are curent de excitație,deci n-ar putea produce fluxul magnetic în inductor. În realitate, oțelul polilor mașinii are un oarecare magnetism, datorită remanenței de la funcționarea anterioară, astfel încît se produce un mic flux magnetic inductor, care dă naștere la o forță electromotoare de valoare redusă. Această forță electromotoare face ca și în bobinajul de excitație să treacă un mic curent de excitație, care întărește magnetismul polilor. Din această cauză, fluxul inductor se mărește, forța electromotoare crește, ceea ce are drept efect și o mărire

a curentului de excitaţie ş.a.m.d., pînă cînd se ajunge la saturaţia oţelului din circuitul magnetic, care corespunde situaţiei de funcţionare normală a maşinii. În felul acesta, se spune că maşina „a prins".

2. Reacţia indusului

Se presupune că un generator de curent continuu funcţionează, dar circuitul exterior de utilizare este întrerupt, astfel încît nu se produce curent electric. Sensul de rotaţie a indusului este acela indicat de săgeţi în figura 16—8. Cîmpul magnetic produs de

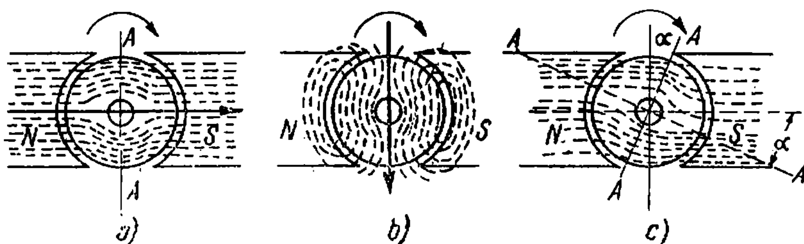


Fig. 16-8. Reacţia indusului:
a — cîmpul inductor; *b* — cîmpul indus; *c* — cîmpul rezultant.

inductor are liniile de forţă astfel după cum este indicat în figura 16—8,*a*. Sensul acestor linii este de la stînga spre dreapta. Axa pe care se găsesc periile corespunde cu axa polilor. Imediat ce generatorul începe să producă curent în circuitul exterior, bobinajul indusului va fi străbătut de un curent, care va crea în jurul său un alt cîmp magnetic, ale cărui linii de forţă sînt trasate în figura 16—8,*b*. Sensul acestor linii este de sus în jos, în întrefier. În timpul în care generatorul produce curent în circuitul exterior, există deci două cîmpuri magnetice, care dau un cîmp magnetic rezultant, ale cărui linii de forţă au aspectul din figura 16—8,*c*. Axa A-A a cîmpului rezultant este înclinată cu unghiul α în sensul mişcării, faţă de axa iniţială orizontală a cîmpului inductor (fig. 16—8,*a*). Compunerea vectorială a celor două cîmpuri este arătată în figura 16—9, unde vectorul $\overline{OB}$ reprezintă cîmpul inductor, vectorul $\overline{OC}$, cîmpul propriu al indusului, iar vectorul $\overline{OA}$, cîmpul rezultant.

Cu cît curentul debitat de generator este mai intens, cu atît va fi mai puternic cîmpul propriu OC al indusului și deci cu atît va fi mai mare unghiul de înclinare α.

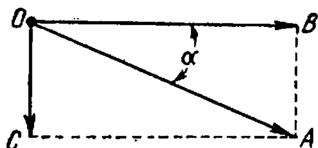


Fig. 16-9. Compunerea vectorială a cîmpurilor magnetice din generatorul de curent continuu.

Dacă forța electromotoare produsă de generator este E, tensiunea între perii U, curentul debitat I, iar rezistența totală a indusului r, se poate scrie:

$$E = U + rI$$

conform legii a doua a lui Kirchhoff.

Tensiunea între perii are expresia:

$$U = RI,$$

în care R este rezistența circuitului exterior de utilizare.

Se deduce:

$$U = E - rI. \qquad (16.3)$$

Se vede că tensiunea U la bornele generatorului de curent continuu (dinamului) depinde de forța electromotoare E și de căderea de tensiune rI în indus. Deoarece rezistența r a indusului este mică, căderea de tensiune nu depășește la mașinile moderne cîteva procente din E.

În afară de căderea de tensiune rI, există încă o cauză care provoacă diminuarea tensiunii U și anume *reacția indusului*. Reacția indusului este cauzată de existența cîmpului propriu al indusului și constă în două fenomene descrise mai jos.

Cîmpul propriu al indusului suprapunîndu-se peste cîmpul inductorului mărește saturația magnetică a oțelului care constituie indusul și deci și reluctanța magnetică. Aceasta provoacă o micșorare a fluxului magnetic inductor și deci o micșorare a forței electromotoare E. Dar micșorarea forței electromotoare are drept consecință diminuarea tensiunii U. Acesta este un prim efect al reacției indusului.

Un al doilea efect se observă în figura 16—8,*c* și este deformarea sau *distorsiunea* cîmpului magnetic. În urma acestei distorsiuni, axul cîmpului magnetic rezultat se înclină — după cum s-a arătat — în sensul de rotație a indusului.

3. Comutația

În figura 16—2 axa periilor coincide cu axa polilor. Dacă generatorul nu debitează curent, s-a văzut că axa polilor coincide cu axa cîmpului magnetic inductor. Cînd generatorul începe să producă curent, se observă apariția unor scîntei între colector și perii. Dacă se rotește axa periilor în sensul de rotație a indusului, se observă o micșorare treptată a acestor scîntei, iar la un anumit unghi de înclinare, scînteile dispar complet. Dacă se rotește și mai mult axa periilor, scînteile încep să reapară. În cele ce urmează se va da explicația acestui fenomen.

În figura 16—10 s-au reprezentat o perie împreună cu cîteva lamele de colector — presupus desfășurat — precum și cîteva spire din bobinajul indusului.

Trecerea periei de la o lamelă la alta se numește *comutație*. Se presupune că indusul împreună cu colectorul se deplasează în sensul indicat de săgeata orizontală. Spira *s* se găsește în figura 16—10, *a înainte* de comutație, iar în figura 16—10, *b* după comutație. Astfel cum rezultă din figură, înainte de comutație, curentul are un anumit sens în spira *s*, iar după comutație, are sensul opus. Deci, în timpul comutației, curentul și-a schimbat sensul în spiră. Întrucît comutația se face într-un interval de timp foarte scurt, schimbarea sensului curentului trebuie să se facă rapid. Acestei schimbări de sens i se opune o forță electromotoare de autoinducție care apare în spiră și care tinde să mențină sensul inițial al curentului. În momentul cînd lamela spirei *s* părăsește peria, curentul prin spiră și lamelă nu este nul; pe de altă parte, tot în acest moment, rezistența electrică de trecere de la perie la lamela care o părăsește crește mult, deoarece suprafața de contact dintre perie și lamelă se micșorează din ce în ce mai mult. Dacă se notează cu r_0 această rezistență și cu i curentul care o parcurge, expresia $r_0 i^2$ capătă o valoare suficient de mare, pentru ca, din cauza căldurii degajate prin efectul Lenz-Joule, mici particule de metal să se volatilizeze, devenind incandescente și producînd astfel scînteile de comutație. Curentul din spira în comutație depinde de forța electromotoare care este indusă în această spiră de fluxul magnetic inductor. În figura 16—2, dacă dinamul nu debitează curent, axa cîmpului magnetic rezultant (constituit numai din cîmpul inductor) coincide cu axa polilor, iar spira în comutație are planul său perpendicular pe direcția liniilor de forță, adică la fel ca și spira din figura 7—2 poziția 1. S-a văzut însă în figura 7—2 că, pentru situația din poziția 1, forța electro-

motoare indusă în spiră este nulă. În consecință și în spira *s* din figura 16—10 nu se va induce vreo forță electromotoare, și deci, curentul va fi nul. Neexistînd curent, nu pot apărea nici scîntei la colector.

Cînd generatorul începe să producă curent, axa cîmpului magnetic rezultant se rotește cu un unghi oarecare α (fig. 16—8,*c*); spira în comutație se găsește în acest caz față de liniile de forță, ca și spira din figura 7—2 poziția 2; pentru această poziție se vede însă în figura 7—2,*c* că există forță electromotoare de inducție în spiră.

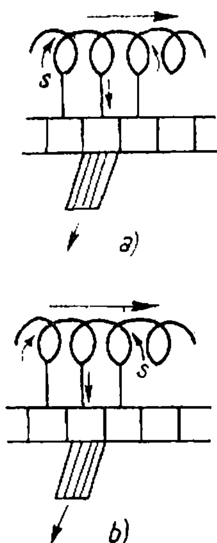


Fig. 16-10. Comutația:
a — poziția periei înainte de comutație; *b* — poziția periei după comutație.

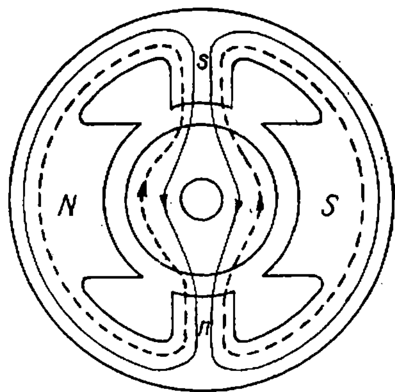


Fig. 16-11. Poli de comutație.

În consecință și în spira *s* din figura 16—10 va exista o forță electromotoare în timpul comutației și deci va exista un curent electric, astfel încît se produc scîntei la colector.

Dacă axa periilor se deplasează însă cu unghiul α în sensul de rotație al indusului, se obține ca spira în comutație să aibă din nou planul său perpendicular pe direcția cîmpului magnetic rezultant, astfel încît nu se mai produc scîntei la colector. Fiecare valoare a curentului produs de generator necesită însă o anumită rotație a axei periilor, care anihilează (anulează) scînteile la colector. În mod normal, sarcina unui generator poate să varieze în timpul funcționării sale, astfel încît ar fi necesar să se realizeze un reglaj continuu al axei periilor, pentru

a nu avea scîntei la colector, care nu numai că produc pierderi de energie, dar uzează foarte repede colectorul.

Deoarece reglajul continuu al axei periilor în raport cu sarcina este greu de realizat, se recurge la utilizarea unor poli speciali numiți *poli de comutație* sau *polii auxiliari*.

După cum se reprezintă schematic în figura 16—11, polii de comutație n, s se așază între polii principali N, S. În jurul polilor de comutație se înfășoară un bobinaj în serie cu circuitul prin care trece curentul produs de generator. Bobinajul polilor de comutație este astfel realizat încît cîmpul magnetic al acestor poli să fie egal și de sens contrar cîmpului magnetic propriu al indusului și care este cauza apariției scînteilor la colector. În figura 16—11, liniile de forță ale cîmpului magnetic al polilor de comutație sînt trasate punctat, iar cele ale cîmpului propriu al indusului, cu linii pline. Curentul din bobinajul polilor de comutație fiind același ca și curentul din indus, compensarea se face la orice sarcină. Utilizarea polilor de comutație permite deci ca axa periilor să nu mai fie rotită în scopul suprimării scînteilor la colector, aceste scîntei fiind suprimate la orice sarcină.

4. Excitația generatoarelor de curent continuu și caracteristicile lor externe

După cum s-a arătat, valoarea forței electromotoare E este proporțională cu fluxul magnetic inductor Φ. Acest flux depinde, la rîndul său, de curentul de excitație. S-a arătat, de asemenea, că tensiunea U la borne depinde de forța electromotoare E. În consecință, pentru a putea mări sau scădea tensiunea la borne, trebuie să se mărească sau să se scadă valoarea forței electromotoare, adică să se mărească sau să se micșoreze fluxul magnetic inductor și, în consecință, curentul de excitație i. Pentru a se putea varia curentul de excitație, se intercalează în circuitul său o rezistență variabilă, care constituie *reostatul de excitație*. În figura 16—12 s-a notat cu R_e reostatul de excitație al unui generator de curent continuu cu excitație separată.

Dacă nu se manevrează R_e, curentul de excitație se menține constant, deci și forța electromotoare.

Din relația:

$$U = E - rI$$

rezultă că, în gol, adică pentru $I = 0$, tensiunea este egală cu forța electromotoare. Pe măsură ce curentul produs I crește,

termenul rI crește, iar tensiunea U scade, atît din cauza termenului rI, cît și din cauza reacției indusului. Această scădere a tensiunii poate fi reprezentată grafic printr-o curbă ca în figura 16—13. După cum reiese din figură, curba este ușor descendentă

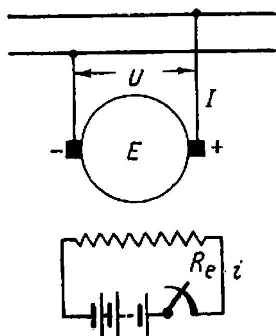


Fig. 16-12. Schema generatorului de curent continuu cu excitație separată.

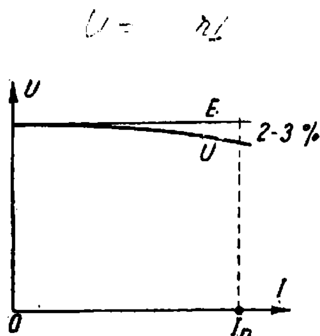


Fig. 16-13. Caracteristica externă a generatorului de curent continuu cu excitație separată.

(coborîtoare). Deoarece rezistența r este mică, iar efectul reacției indusului poate fi compensat în mare parte, diferența dintre tensiunea în gol (egală cu forța electromotoare) și tensiunea la plină sarcină I_n este de numai 2...3% din tensiunea în gol.

Felul cum variază tensiunea în funcție de curentul debitat (celelalte elemente rămînînd neschimbate) constituie o *curbă caracteristică* a generatorului. Deoarece această curbă caracteristică privește tensiunea la bornele circuitului exterior și curentul debitat în același circuit exterior se numește *caracteristică externă.*

Deoarece generatorul trebuie să funcționeze de obicei cu o tensiune constantă, este necesar ca pe măsură ce termenul rI crește, să se mărească și curentul de excitație i și prin urmare, forța electromotoare E, spre a compensa căderea de tensiune. Pentru aceasta se micșorează rezistența reostatului de excitație R_e. Dacă sarcina generatorului scade, tensiunea la borne crește; pentru a o menține constantă, trebuie să se micșoreze curentul de excitație prin mărirea rezistenței reostatului de excitație.

Dacă generatorul este prevăzut cu excitație proprie, aceasta poate fi: excitație *derivație* (sau *șunt*), *serie* și *mixtă* (compusă sau compound).

În figura 16—14 este reprezentată schema unui generator cu excitație derivație. Se observă că circuitul de excitație se

găsește legat în derivație (în paralel) față de circuitul principal. Presupunînd turația constantă, pe măsură ce curentul I produs de generator crește, tensiunea U la borne scade, ca și în cazul

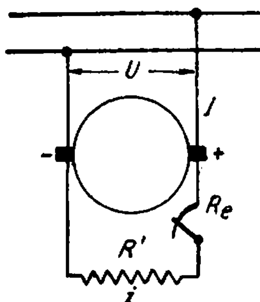


Fig. 16-14. Schema generatorului de curent continuu cu excitație derivație.

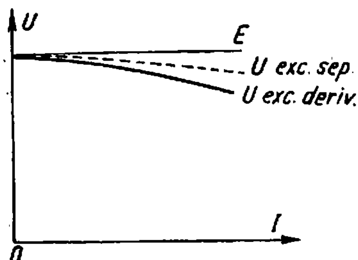


Fig. 16-15. Caracteristica externă a generatorului de curent continuu cu excitație derivație.

excitației separate. Dar tensiunea U este aplicată și la bornele circuitului de excitație. Curentul de excitație este conform legii lui Ohm:

$$i = \frac{U}{R + R'},$$

în care R este rezistența reostatului de excitație, iar R', rezistența bobinajului de excitație. Relația arată că la o scădere a tensiunii U (datorită creșterii sarcinii), care produce o scădere a curentului i de excitație, apare o scădere suplimentară a tensiunii, deoarece scăderea curentului i provoacă o scădere a forței electromotoare E, și deci o nouă scădere a tensiunii U. În consecință, curba caracteristicii externe va fi mai pronunțat descendentă decît în cazul excitației separate, după cum se arată în figura 16—15.

Reglajul tensiunii se obține tot cu ajutorul unui reostat de excitație R_e, montat în circuitul de excitație (fig. 16—14). Generatoarele excitate în derivație sînt de obicei astfel construite, încît la plină sarcină, căderea de tensiune este de 4-5% din tensiunea în gol.

În figura 16-16 este reprezentat schematic un generator cu excitație *serie*. Bobinajul de excitație este legat în serie cu circuitul principal al mașinii. Reostatul de excitație R_e este montat în derivație față de bobinajul de excitație.

Pentru a vedea cum variază tensiunea U în funcție de curentul I produs, se presupune deocamdată că mașina funcționează în gol; tensiunea U_0 în gol este egală după cum se știe, cu forța electromotoare E. Deoarece forța electromotoare este proporțională

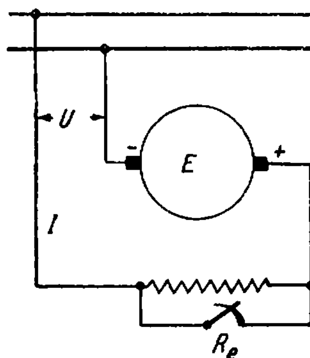


Fig. 16–16. Schema generatorului de curent continuu cu excitație serie.

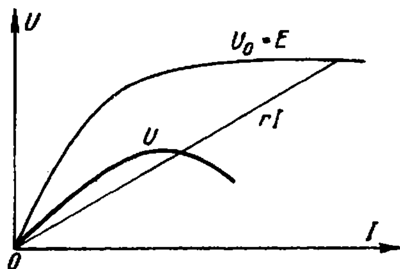


Fig. 16–17. Caracteristica externă a generatorului cu excitație serie.

cu fluxul magnetic inductor Φ, iar acesta este proporțional cu inducția magnetică B, rezultă că variația forței electromotoare E, în funcție de curentul de excitație I, care este, la rîndul său, proporțional cu intensitatea cîmpului magnetic H, va fi redată grafic de o curbă, care va avea aceeași înfățișare ca și curba de magnetizare (curba de magnetizare arată cum variază inducția magnetică B în funcție de intensitatea cîmpului magnetic, H).

În figura 16—17, curba $U_0 = E$ arată această variație. Dacă se presupune acum că generatorul începe să producă un curent, curentul de excitație este practic egal cu curentul produs de generator în circuitul de utilizare. În acest caz însă, tensiunea la bornele generatorului nu va mai fi egală cu tensiunea dată de curba U_0 din figura 16—17, din cauza căderii de tensiune provocată de curentul I în indusul generatorului. Felul cum variază această cădere de tensiune rI — unde r este rezistența indusului — poate fi reprezentat de dreapta rI din figura 16—17. În consecință, dacă din ordonatele curbei U_0 se scad ordonatele dreptei rI se obțin ordonatele curbei U, care arată cum variază tensiunea U în funcție de curentul I produs, adică curba caracteristicii externe. Se vede că la început tensiunea U crește o dată

cu curentul I produs, apoi trece printr-un maxim şi după aceea începe să scadă.

Reostatul de excitaţie R_e se montează în derivaţie faţă de bobinajul de excitaţie, deoarece astfel, prin manevrarea sa,

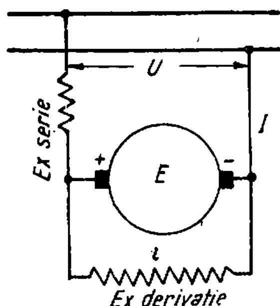


Fig. 16–18. Schema generatorului cu excitaţie mixtă.

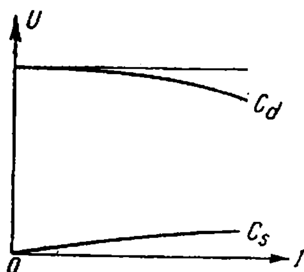


Fig. 16–19. Caracteristica externă a generatorului cu excitaţie mixtă.

se reglează numai fluxul magnetic inductor; dacă s-ar fi intercalat în serie cu excitaţia, ar fi fost parcurs de întregul curent I produs de generator, dînd loc la pierderi importante prin efectul Lenz-Joule.

În figura 16—18 este reprezentată schema unui generator cu excitaţie mixtă. Maşina are două bobinaje de excitaţie: unul în serie şi altul în derivaţie. În figura 16—19, curba C_d arată variaţia tensiunii în funcţie de curentul produs I, dacă ar exista numai excitaţia derivaţie, iar curba C_s, variaţia tensiunii, dacă ar exista numai excitaţia serie. Numărul de spire al excitaţiei serie este suficient de redus pentru ca ordonatele curbei C_s, care reprezintă o creştere a tensiunii, să compenseze cît mai bine căderile de tensiune datorite curbei C_d. Bobinajul excitaţiei serie are un număr redus de spire cu secţiune mare, deoarece este parcurs de întregul curent I, pe cînd bobinajul excitaţiei derivaţie are un număr mare de spire cu secţiune mică, fiind parcurs de curentul de excitaţie i, mult mai mic.

Generatorul cu excitaţie mixtă are deci posibilitatea de a menţine tensiunea la borne practic constantă, cînd variază sarcina, fără a fi necesar un reostat de excitaţie.

În practică, se folosesc generatoare de curent continuu cu excitaţie derivaţie şi mixtă.

5. Mersul în paralel al generatoarelor de curent continuu

Singura condiţie pentru ca două generatoare de curent continuu să funcţioneze în paralel este ca să aibă aceeaşi tensiune. Încărcarea generatorului de curent continuu care se leagă în paralel se obţine prin mărirea excitaţiei.

6. Principiul de funcţionare a motorului de curent continuu

În figura 16—20 s-au reprezentat schematic inductorul şi indusul unei maşini de curent continuu. Se presupune că motorul care antrenează maşina o roteşte în sensul indicat de săgeata s. Sensul curenţilor care apar în conductoarele indusului este acela indicat pe figură. Conform legii lui Lenz (efectul se opune cauzei), forţele electromagnetice care se exercită asupra curenţilor din cîmpul magnetic constituie un *cuplu electromagnetic rezistent*, avînd sensul săgeţii s'.

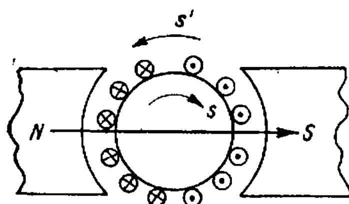


Fig. 16—20. Indusul şi inductorul maşinii de curent continuu.

Se ştie că puterea electrică P produsă de generatorul a cărui forţă electromotoare este E, corespunde formulei:

$$P = EI,$$

în care I este curentul produs de generator.

Puterea mecanică care este dată generatorului de către motor este egală cu $C\Omega$, unde C este *cuplul motor* dat de motor la arbore, iar Ω — viteza unghiulară a acestui arbore. Dacă se face abstracţie de pierderile care au loc în generator, acest cuplu motor poate fi considerat egal cu cuplul electromagnetic rezistent. În acest caz, se poate scrie:

$$P = EI = C\Omega.$$

Din relaţia de mai înainte se deduce:

$$C = \frac{EI}{\Omega}.$$

Deoarece:

$$E = kNn\Phi$$

şi

$$\Omega = \frac{2\pi n}{60},$$

k fiind un factor de proporţionalitate cunoscut, iar n—turaţia generatorului în rot/min,se poate scrie:

$$C = \frac{k N n \Phi I}{\frac{2\pi n}{60}} = \frac{60 k N}{2\pi} \Phi I = K \Phi I \qquad (16.4)$$

unde s-a notat:

$$K = \frac{60 k N}{2\pi}.$$

Cuplul electromagnetic rezistent al unui generator de curent continuu este, aşadar, proporţional cu fluxul magnetic inductor Φ *şi cu curentul produs* I.

Dacă se presupune că se întrerupe legătura mecanică dintre motor şi generator, dar se trimite *din afară* un curent electric în maşina de curent continuu, care să aibă acelaşi sens ca în figura 16—20, înseamnă că cuplul electromagnetic cu sensul s' rămîne. Acest cuplu este acum un cuplu *motor* electromagnetic, care roteşte indusul maşinii în sensul s', iar maşina, din generator, a devenit *motor*. Dacă la arborele acestui motor electric se cuplează, de exemplu, o maşină-unealtă, aceasta va opune un cuplu *mecanic rezistent*, care este învins de cuplul motor electromagnetic al motorului.

În maşina electrică, devenită motor, ia naştere, prin fenomenul de inducţie electromagnetică, o forţă electromotoare E ca şi în cazul generatorului electric. Această forţă electromotoare poartă de obicei numele de *forţă contraelectromotoare*, deoarece se opune tensiunii U aplicată la bornele motorului de la reţeaua electrică de alimentare. Valoarea forţei contraelectromotoare este dată de aceeaşi relaţie $E = kNn\Phi$ ca şi în cazul generatorului. De asemenea, din cele arătate rezultă că cuplul electromagnetic motor al motorului electric este dat de aceeaşi formulă ca şi cuplul electromagnetic rezistent al generatorului, adică este proporţional cu fluxul magnetic inductor Φ şi cu curentul *absorbit* I.

O maşină de curent continuu poate primi o energie mecanică,pe care o transformă în energie electrică; în acest caz, func-

ţionează ca generator electric, la care cuplul electromagnetic este un cuplu rezistent. De asemenea, maşina de curent continuu poate primi energie electrică, pe care o transformă în energie mecanică; în acest caz maşina funcţionează ca un motor electric, la care cuplul electromagnetic este un cuplu motor. Maşina de curent continuu este deci *reversibilă*.

7. Pornirea, reglarea turaţiei şi schimbarea sensului de mers la motorul de curent continuu

Tensiunea U care se aplică la bornele unui motor de curent continuu trebuie să compenseze atît forţa contraelectromotoare E ce ia naştere în motor, cît şi căderea de tensiune rI în indusul motorului, adică:

$$U = E + rI, \qquad (16.5)$$

în care r este rezistenţa indusului, iar I—curentul absorbit.

Din această relaţie rezultă:

$$I = \frac{U - E}{r}.$$

În momentul pornirii, turaţia fiind mică şi forţa contraelectromotoare E este mică. Din această cauză şi deoarece tensiunea U a reţelei de alimentare este constantă, curentul I absorbit de motor la pornire este cu mult mai mare decît în funcţionare normală, cînd forţa contraelectromotoare creşte la valoarea ei normală. Pentru a se evita ca la pornire să se producă un şoc periculos de curent, se intercalează în serie cu indusul o rezistenţă variabilă, a cărei valoare se micşorează pe măsură ce motorul îşi măreşte turaţia. La sfîrşitul perioadei de pornire, rezistenţa este complet scoasă din circuit. Această rezistenţă variabilă poartă numele de *reostat de pornire* şi nu trebuie confundat cu reostatul de excitaţie, care se găseşte în circuitul inductorului.

S-a văzut care este rolul reostatului de excitaţie la generator. La motor, el îndeplineşte un alt rol, după cum se va arăta mai departe. Din relaţia:

$$E = kNn\Phi$$

se deduce:

$$n = \frac{E}{kN\Phi} = \frac{U - rI}{kN\Phi}.$$

Deoarece termenul rI este practic neglijabil (cîteva procente față de U), se poate scrie:

$$n = \frac{U}{kN\Phi}. \quad (16.6)$$

Dat fiind că motoarele de curent continuu funcționează în mod normal sub o tensiune U constantă, rezultă că turația n este invers proporțională cu fluxul inductor Φ. Prin variația acestui flux se poate deci obține un reglaj al turației. Variația fluxului se obține însă prin manevrarea reostatului de excitație. În consecință, acest reostat servește la reglarea turației motorului. Pentru a se mări turația, trebuie să se micșoreze fluxul, adică curentul de excitație și invers.

S-ar putea ca, păstrîndu-se fluxul constant, să se obțină un reglaj al turației prin variația tensiunii la bornele motorului cu ajutorul reostatului de pornire. Acest procedeu nu se utilizează însă în practică, deoarece este neeconomic, dat fiind că reostatul de pornire este străbătut de întregul curent absorbit de motor și provoacă o importantă pierdere de energie.

Rezultă că la pornirea motorului este necesară o rezistență mare în circuitul indusului, pentru a se reduce curentul absorbit de indus și o rezistență mică în circuitul de excitație pentru a avea un flux mare și, în consecință, un cuplu de pornire puternic. Pe măsură ce motorul își mărește turația, se scot rezistențele din reostatul de pornire și se introduc rezistențe în reostatul de excitație pînă cînd se ajunge la funcționarea normală.

Trebuie avut totdeauna grijă, atît timp cît motorul este sub tensiune, să nu se întrerupă curentul de excitație, deoarece curentul absorbit de indus crește brusc la valori foarte mari (dispare forța contraelectromotoare), iar motorul se *ambalează* (își mărește foarte mult turația).

S-a arătat că cuplul electromagnetic al motorului este proporțional cu fluxul inductor Φ și cu curentul absorbit I. Sensul de rotație dat de acest cuplu corespunde sensurilor celor două mărimi, Φ și I. Pentru a schimba sensul de rotație al motorului trebuie să se schimbe între ele fie legăturile la bornele circuitului de excitație (prin aceasta se schimbă sensul fluxului Φ), fie legăturile la bornele indusului (prin aceasta se schimbă sensul curentului absorbit I). De obicei se schimbă sensul curentului de excitație, care are o valoare mai mică.

8. Diferite feluri de motoare de curent continuu și caracteristicile lor mecanice

Motoarele de curent continuu pot avea diferite feluri de excitație. În figura 16—21 este reprezentată schema unui motor cu excitație separată. La un motor interesează totdeauna să se cunoască cum variază turația n în funcție de cuplul C (caracteristica mecanică), atunci cînd celelalte elemente rămîn neschimbate.

Se cunosc relațiile:

$$n = \frac{U - rI}{kN\Phi}$$

și

$$C = K\Phi I.$$

Din a doua relație rezultă:

$$I = \frac{C}{K\Phi}.$$

Introducînd această valoare în prima relație, se obține:

$$n = \frac{U}{kN\Phi} - \frac{r}{kKN\Phi^2}C. \qquad (16.7)$$

Deoarece tensiunea U aplicată motorului este constantă, iar fluxul Φ este de asemenea constant, relația de mai înainte

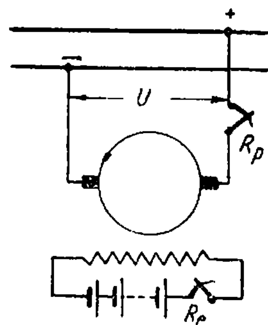


Fig. 16-21. Schema motorului de curent continuu cu excitație separată.

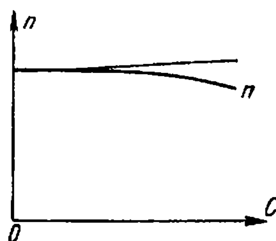


Fig. 16-22. Caracteristica mecanică a motorului de curent continuu cu excitație separată.

arată că pe măsură ce cuplul C crește, turația n scade. Curba de variație are aspectul din figura 16—22. O dată cu creșterea

cuplului, turația scade puțin, astfel încît la cuplul nominal de plină sarcină, scăderea este de 2...3% din turația n_0 în gol. Motorul are deci o turație practic constantă. De obicei, nu este nevoie ca excitația motorului să se ia de la o sursă separată. Într-adevăr, dat fiind că pentru alimentarea indusului motorului există o sursă de curent continuu, nu are sens să se utilizeze o altă sursă pentru excitație.

De cîte ori este nevoie de un motor de curent continuu cu turație practic constantă (la mașini-unelte, ventilatoare, pompe și altele), se întrebuințează motorul cu excitație derivație, a cărui schemă este redată în figura 16-23. De aici se vede că cir-

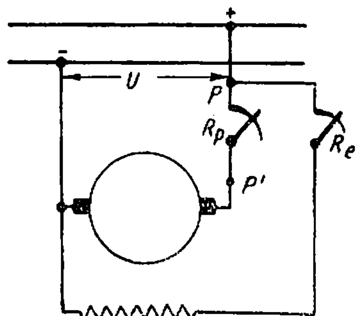


Fig. 16-23. Schema motorului de curent continuu cu excitație derivație.

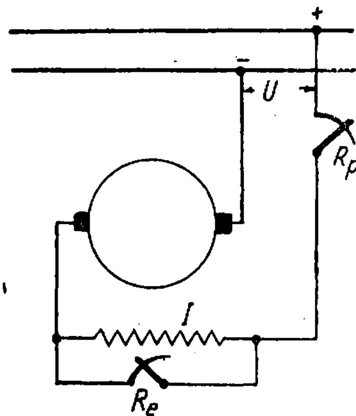


Fig. 16-24. Schema motorului de curent continuu cu excitație serie.

cuitul de excitație este legat în derivație față de circuitul principal al indusului. Deoarece tensiunea U a rețelei de alimentare este constantă, curentul de excitație, deci și fluxul inductor poate fi de asemenea menținut constant, astfel încît caracteristica mecanică a acestui motor este identică cu aceea a motorului cu excitație separată. Scăderea de turație, între mersul în gol și mersul la plină sarcină, este de 2...3%.

La motorul cu excitație derivație trebuie totdeauna observat ca reostatul de excitație R_e să fie legat într-un punct P (fig. 16—23) între reostatul de pornire R_p și rețeaua de alimentare. Legarea într-un punct ca P', de exemplu, este greșită, deoarece în acest caz, curentul de excitație, deci fluxul inductor, este influențat de poziția reostatului R_p.

În figura 16—24 este reprezentată schema unui motor de curent continuu cu excitaţie serie, la care bobinajul de excitaţie se găseşte legat în serie cu circuitul principal al indusului.

Se consideră relaţiile date mai înainte:

$$C = K \Phi I$$

$$n = \frac{U}{k N \Phi} = \frac{k_1}{\Phi},$$

în care s-a notat:

$$\frac{U}{k N} = k_1.$$

Deoarece curentul principal I trece practic şi prin bobinajul de excitaţie, acest curent poate fi considerat proporţional cu fluxul inductor Φ pe care-l produce, adică:

$$I = k_2 \Phi$$

unde k_2 este un factor de proporţionalitate.

Rezultă:

$$C = K k_2 \Phi^2 = k_3 \Phi^2$$

dacă se notează:

$$k_3 = K k_2 .$$

În consecinţă:

$$\Phi = \frac{1}{\sqrt{k_3}} \sqrt{C} = k_4 \sqrt{C}$$

notîndu-se :

$$\frac{1}{\sqrt{k_3}} = k_4 .$$

Introducîndu-se ultima valoare obţinută pentru Φ în expresia de mai înainte a turaţiei se obţine:

$$n = \frac{k_1}{k_4 \sqrt{C}} = \frac{k_5}{\sqrt{C}} \qquad (16.8)$$

unde s-a notat:

$$\frac{k_1}{k_4} = k_5$$

Relaţia de mai înainte a turaţiei n în funcţie de cuplul C arată că unui cuplu mic îi corespunde o turaţie mare şi, pe măsură ce cuplul (sarcina) creşte, turaţia scade. În figura 16—25 este reprezentată curba corespunzătoare a caracteristicii mecanice. Această caracteristică arată că la pornirea motorului, cînd turaţia n este mică, cuplul este puternic. Din această cauză, asemenea motoare se utilizează în special la tracţiune (tramvaie şi locomotive electrice), unde condiţiile de serviciu cer cuplu mare la pornire.

În figura 16—26 se arată schema motorului cu excitaţie mixtă sau compound. Un asemenea motor are două circuite de excitaţie, şi anume unul în derivaţie şi altul în serie faţă de circuitul principal al indusului. Aceste două circuite sînt astfel bobinate, încît fluxurile magnetice respective să aibă

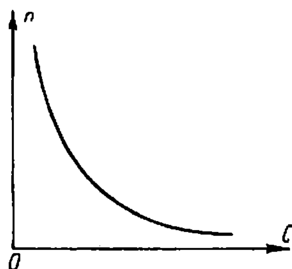


Fig. 16-25. Caracteristica mecanică a motorului serie.

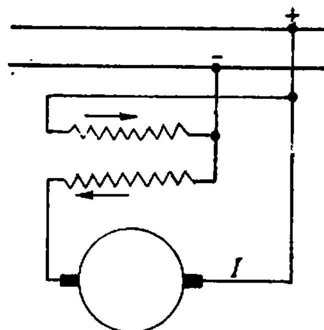


Fig. 16-26. Schema motorului de curent continuu cu excitaţie mixtă diferenţială.

sensuri contrarii. O asemenea excitaţie se numeşte *diferenţială*. În acest caz, pe măsură ce cuplul motorului creşte, se obţine ca scăderea de turaţie datorită excitaţiei derivaţie să fie compensată de excitaţia serie. Într-adevăr, cînd cuplul creşte, turaţia are tendinţa să scadă; creşterea cuplului corespunde însă unui curent I absorbit de indus mai mare. Deoarece I creşte, fluxul serie creşte şi micşorează fluxul derivaţie, astfel încît fluxul rezultat este mai mic şi, în consecinţă, turaţia creşte pentru a reveni la valoarea iniţială. Motoarele cu excitaţie mixtă diferenţială au însă dezavantajul de a nu avea o funcţionare suficient de stabilă.

Cînd cele două bobinaje de excitaţie sînt astfel realizate, încît produc fluxuri magnetice de acelaşi sens, excitaţia se numeşte

adițională și se utilizează atunci cînd este necesar un cuplu mare de pornire sau o micșorare importantă a turației o dată cu creșterea sarcinii.

9. Construcția mașinilor de curent continuu

În figura 16—27 se arată modul în care sînt fixați polii de carcasa unei mașini cu patru poli. La mașinile moderne, carcasa este de oțel, turnat sau sudat; la mașinile mai vechi, se executa din fontă. Polii se fabrică din oțel cu mare permeabilitate magnetică. Fiecare pol are la extremitatea dinspre întrefier o talpă, care îmbrățișează indusul și permite o distribuire bună a liniilor de forță în întrefier.

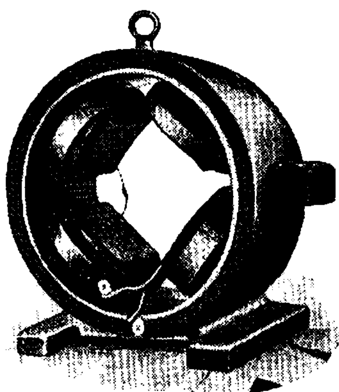


Fig. 16-27. Fixarea polilor de carcasa mașinii.

Indusul generatorului se fabrică tot din oțel cu mare permeabilitate magnetică. El este constituit din tole izolate, în scopul micșorării pierderilor prin curenți turbionari. Conductoarele sînt așezate în crestături pe indus.

Aceste crestături pot fi *deschise* (fig. 16—28, *a*), *semideschise* (fig. 16—28, *b*) sau *închise* (fig. 16—28, *c*). Cele mai obișnuite sînt crestăturile deschise.

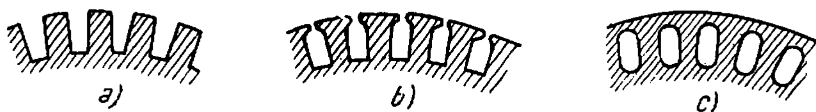


Fig. 16-28. Crestături de indus:
a — deschise; *b* — semideschise; *c* — închise.

Conductoarele nu se bobinează în general direct pe indus, ci se formează mai întîi bobine, care se fixează apoi în crestăturile indusului și apoi se leagă capetele bobinelor. În figura 16—29

se vede o astfel de bobină în momentul introducerii în crestăturile respective ale indusului.

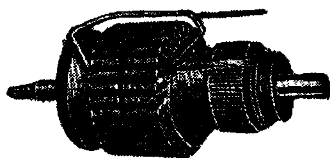


Fig. 16–29. Bobină în curs de montare pe indus.

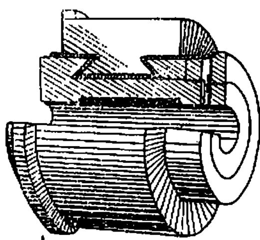


Fig. 16–30. Secțiune prin colector.

Colectorul este solidar pe același ax cu indusul. În figura 16—29 colectorul este reprezentat în dreapta indusului. El este constituit dintr-o serie de lamele din cupru tare, tras. Lamelele formează un inel cilindric (fig. 16—30). Fiecare lamelă este fixată de butuc printr-un dispozitiv în formă de coadă de rîndunică. Lamelele sînt izolate atît între ele, cît și față de butuc.

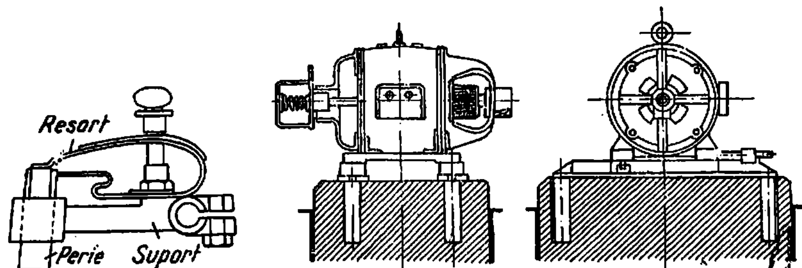


Fig. 16–31. Perie cu suport.

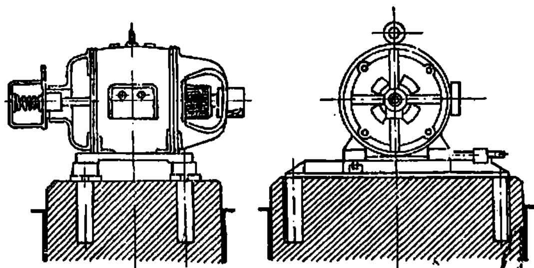


Fig. 16–32. Mașină de curent continuu.

Periile se confecționează din cărbune tare, grafit sau bronz grafitat și servesc la culegerea curentului. Aceste perii sînt fixe în spațiu,

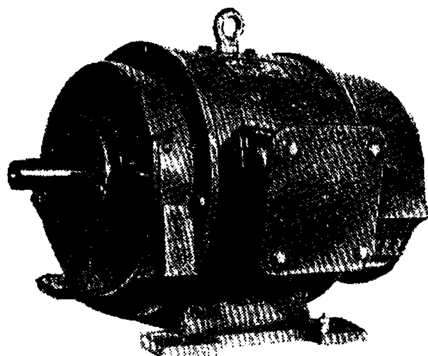


Fig. 16–33. Mașină de curent continuu fabricată în R.P.R.

fiind legate de stator prin intermediul unui suport. De obicei există un dispozitiv, care permite ca periile să se poată totuşi roti cu un anumit unghi în jurul colectorului. Presiunea pe care trebuie s-o exercite asupra colectorului pentru a se obţine un contact bun se realizează cu ajutorul unui resort reglabil, care apăsă asupra periei (fig. 16—31).

Figurile 16—32 şi 16—33 reprezintă aspectul general al unei maşini de curent continuu.

În R.P.R. se construiesc maşini de curent continuu. Se menţionează, de exemplu, generatorul de curent continuu tip D_1' utilizat la iluminatul vagoanelor şi automotoarelor de cale ferată.

Capitolul XVII

Motoare de curent alternativ cu colector

1. Motorul monofazat serie

Dacă un motor de curent continuu cu excitație serie este alimentat cu curent alternativ sub o tensiune eficace U, va putea da la arbore un cuplu C, proporțional cu fluxul magnetic inductor Φ și cu curentul absorbit I, adică:

$$C = K \Phi I.$$

Deoarece fluxul Φ poate fi considerat proporțional cu curentul absorbit, cuplul va fi proporțional cu pătratul curentului și deci va fi mereu pozitiv, adică de același sens, chiar dacă curentul este alternativ. De aceea, motorul poate funcționa și cu curent alternativ. Deosebirea constructivă față de motorul serie de curent continuu constă în faptul că polii sînt din tole, pentru a reduce curenții turbionari ce se produc din cauza cîmpului magnetic alternativ.

Comutația la motorul monofazat serie cu colector se realizează mai greu decît la motorul serie de curent continuu. Dificultatea crește cu cît frecvența curentului alternativ de alimentare este mai mare.

Aceste motoare au o caracteristică mecanică asemănătoare cu aceea a motoarelor serie de curent continuu. Din această cauză, ele se utilizează în tracțiunea electrică.

2. Motorul monofazat cu repulsie

În figura 17—1 este reprezentat schematic motorul cu repulsie. Rotorul său este identic cu indusul unei mașini de curent continuu, cu deosebirea că periile sînt legate în scurtcircuit. Sta-

torul este asemănător cu acela al unui motor asincron sau sincron monofazat și se leagă la rețea. Axa periilor trebuie să facă cu axa cîmpului magnetic statoric un unghi diferit de 90°. Dacă la un moment dat, sensul cîmpurilor magnetice, rotoric și statoric, sînt acelea din figură, aceste cîmpuri comportîndu-se ca doi magneți, asupra rotorului se va produce o forță de *repulsie* în sensul săgeții. Dacă se schimbă sensul cîmpului statoric, se schimbă și sensul cîmpului rotoric, astfel încît forța de repulsie se menține avînd ca efect învîrtirea rotorului în sensul săgeții.

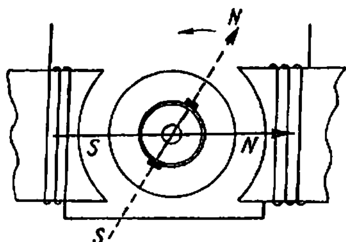


Fig. 17-1. Schema motorului monofazat cu repulsie.

Motorul are un cuplu de pornire puternic. Prin rotirea axei periilor se poate regla turația. Acest motor se întrebuințează în cazurile în care este necesar un reglaj economic și în limite largi ale turației pentru puteri mici și mijlocii, ca de exemplu în industria textilă, aparate electromedicale etc.

3. Motorul trifazat serie cu colector

Statorul acestui motor este asemănător aceluia al unui motor asincron trifazat. Rotorul este construit ca și indusul unei mașini de curent continuu, dar are trei perii așezate la 120° pe periferia colectorului (fig. 17—2). Fiecare fază statorică *S* este legată cu o extremitate la rețeaua de alimentare și cu celelalte la cîte o perie. Prin rotirea în mod simultan a celor trei perii, se obține reglajul turației între 50% și 120% din viteza de rotație a cîmpului magnetic învîrtitor.

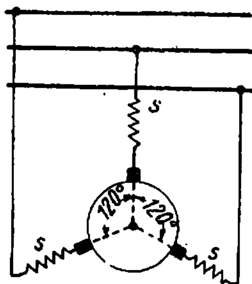


Fig. 17-2. Schema motorului trifazat serie cu colector.

Motorul se utilizează atunci cînd este necesar un anumit reglaj economic al turației și un cuplu puternic de pornire ca, de exemplu, la mașini de extracție, ventilatoare, compresoare.

4. Motorul trifazat derivație cu colector

În figura 17—3 este reprezentat schematic acest motor. Statorul *S* este asemănător aceluia al unui motor asincron trifazat și se leagă la rețeaua de alimentare. Rotorul *R* este asemănător unui indus de generator de curent continuu, dar are trei perii la 120° pe periferia colectorului. Cele trei perii sînt, de asemenea, legate la rețeaua de alimentare prin intermediul unui autotransformator trifazat *A*. Turația se reglează prin schimbarea prizelor de legătură la autotransformator. Motorul se utilizează în cazurile unde este necesar un reglaj economic al turației.

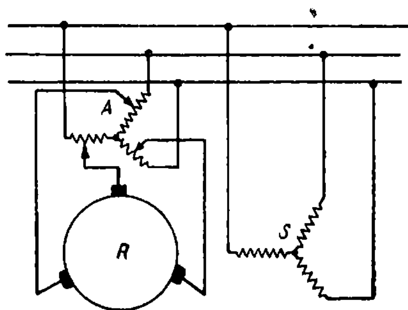


Fig. 17-3. Schema motorului trifazat derivație cu colector.

Capitolul XVIII

Convertizoare și redresoare

Se numește de obicei *convertizor* o mașină sau un grup de mașini care transformă un gen de curent în alt gen; convertizorul poate realiza schimbarea frecvenței, tensiunii, numărul de faze, felul curentului (continuu sau alternativ) etc.

Convertizoarele pot fi grupate în două mari categorii: *rotative* și *statice*. Convertizoarele statice mai sînt cunoscute și sub denumirea de *redresoare*.

1. Convertizoare rotative

Un convertizor rotativ poate fi constituit din două mașini electrice rotative cuplate, una funcționînd ca motor și cealaltă, ca generator. Motorul primește energia electrică sub forma sub care este disponibilă și antrenează generatorul, care produce energie electrică sub forma care este necesară. Un astfel de grup de mașini (sau agregat) constituie un *convertizor motor-generator*. Cu ajutorul lui se poate, de exemplu, transforma curentul continuu (motor de curent continuu) în curent alternativ (generator de curent alternativ) sau invers. De asemenea, se poate transforma curentul trifazat de o anumită frecvență în curent monofazat de altă frecvență.

În R.P.R. se construiesc unele tipuri de convertizoare rotative constituite dintr-un motor asincron trifazat și un generator de curent continuu. Se menționează, de exemplu, convertizorul tip GEA cu generator de curent continuu de 10 kW și tensiune variabilă pentru încărcarea bateriilor de acumulatoare.

Există și mașini monobloc (cu o singură carcasă), care pot transforma curentul continuu în curent alternativ, sau invers. Principiul de funcționare al acestor mașini, numite *comutatoare electrice*, rezultă din figura 18—1. În figura 18—1,*a*, *M* repre-

zintă o maşină de curent continuu avînd colectorul în stînga, iar periile colectorului legate la o reţea de curent continuu. Maşina funcţionează ca orice motor de curent continuu. Pe capătul din dreapta al arborelui se găsesc trei inele metalice izolate între ele şi izolate faţă de arbore. Pe fiecare inel freacă cîte o perie, iar cele trei perii sînt legate la o reţea trifazată. Inelele sînt legate cu trei puncte de pe bobinajul indusului, situate la 120° între ele (fig. 18–1,*b*). Cînd maşina se roteşte, între cele trei inele apar trei tensiuni trifazate, astfel încît prin intermediul inelelor şi al periilor respective maşina poate produce curent trifazat şi alimentează reţeaua trifazată. Comutatoarea descrisă primeşte energie sub formă de curent continuu şi dă energie sub formă de curent trifazat. Comutatoarea este reversibilă. Ea poate fi alimentată cu curent trifazat prin cele trei inele şi se învîrteşte ca un motor sincron, iar la periile care freacă pe colector produce curent continuu, ca un generator de curent continuu.

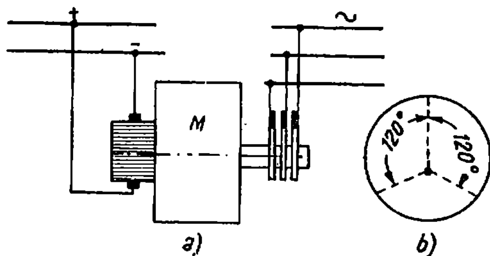


Fig. 18–1. Schema constructivă a comutatoarei.

Între tensiunea eficace U_a pe partea de curent alternativ trifazat şi tensiunea U_c pe partea de curent continuu există o legătură neschimbată, şi anume:

$$U_a = 0{,}612\ U_c\,. \qquad (18.1)$$

2. Redresoare

a. Redresorul cu mercur

În figura 18–2 se consideră un vas *V* în care s-a făcut vid. În porţiunea notată cu *C* se găseşte mercur, iar *A* este o piesă de fier sau de grafit. *T* reprezintă un transformator, la primarul căruia se aplică tensiunea alternativă avînd valoarea eficace U_a. Printr-un mijloc oarecare se încălzeşte pînă la incandescenţă o porţiune din partea superioară a mercurului. Între piesa *A*

numită anod şi mercurul care constituie catodul există o diferenţă de potenţial şi un cîmp electric alternativ. Cînd potenţialul anodului este pozitiv faţă de catodul de mercur, acesta emite electroni — particule de electricitate negativă — care se dirijează spre anodul pozitiv. Această scoatere a electronilor din mercur este posibilă numai dacă mercurul este încălzit pînă la incandescenţă. Electronii lovesc, în drumul lor spre anod, mole-

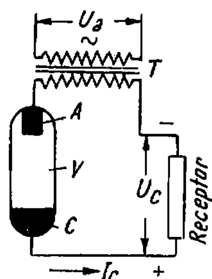


Fig. 18-2. Redresor cu mercur cu un anod.

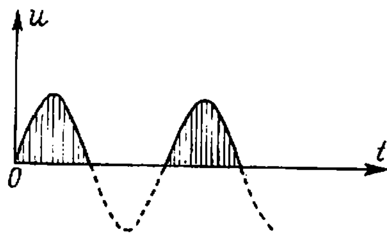


Fig. 18-3. Tensiune redresată cu pulsaţii intermitente.

culele de vapori de mercur care există în vas. Prin ciocnirile care au loc, unii electroni din atomii moleculelor sînt scoşi din aceşti atomi, fiind apoi şi ei atraşi de anod. În felul acesta se produce o circulaţie de electroni în sensul catod-anod în interiorul vasului. În acelaşi timp, particulele care au pierdut electronii constituie ioni pozitivi, care sînt atraşi de catodul negativ. Această dublă circulaţie de electroni într-un sens şi ioni pozitivi în sens contrar constituie un arc electric, care permite să treacă un curent I_c în circuitul numit de utilizare şi care cuprinde un receptor oarecare, după cum se arată în figură.

Arcul se stinge şi curentul se întrerupe cînd anodul se găseşte la un potenţial negativ faţă de catod, deoarece din anod nu pot fi atraşi electroni spre catod.

În figura 18—3 s-a trasat curba care arată variaţia tensiunii U din secundarul transformatorului în funcţie de timp. Arcul, deci şi curentul I_c, durează numai pentru intervalele de timp cînd tensiunea U are valori pozitive, adică pentru porţiunile haşurate din figură. Tensiunea U_c de la bornele circuitului de utilizare are forma unor *pulsaţii* pozitive şi intermitente. Curentul I_c are şi el o formă asemănătoare. Acest curent se numeşte curent *redresat*, iar aparatul se numeşte *redresor cu mercur*.

În figura 18—4 s-a considerat un vas V cu doi anozi A_1 și A_2. Circuitul de utilizare este legat cu un capăt la catodul C, iar cu celălalt capăt, la mijlocul secundarului transformatorului T. Cînd tensiunea alternativă aplicată transformatorului are, de exemplu, sensul săgeții pline, ano-

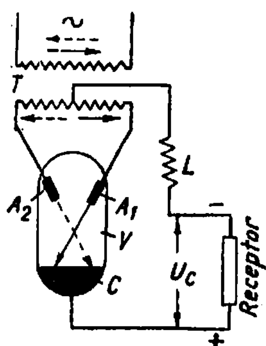


Fig. 18-4. Redresor cu doi anozi.

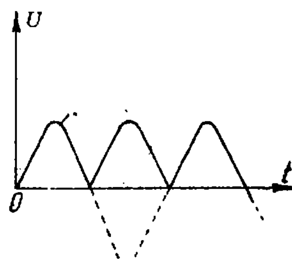


Fig. 18-5. Redresarea ambelor alternanțe.

dul A_1 este pozitiv față de catod, iar cînd tensiunea are sensul săgeții punctate, anodul A_2 este pozitiv față de catod. În consecință, va exista un arc electric la fiecare alternanță a curentului alternativ. Tensiunea U_c la bornele circuitului de utilizare are forma arătată prin linia groasă din

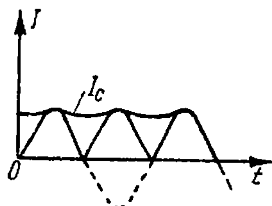


Fig. 18-6. Netezirea pulsațiilor.

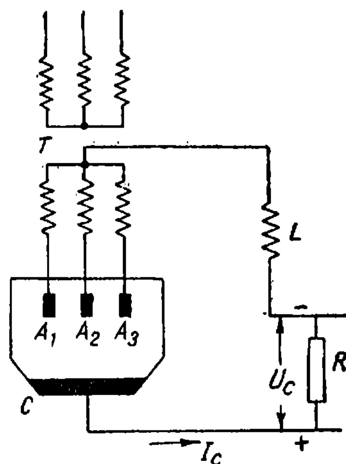


Fig. 18-7. Schema redresorului trifazat.

figura 18—5. S-a obținut o redresare mai bună, deoarece se utilizează ambele alternanțe. Inductanța L (fig. 18—4) din circuitul

de utilizare face ca pulsaţiile curentului I_c să fie mai nivelate (fig. 18—6), astfel încît curba curentului se apropie de aceea a unui curent continuu.

Redresoarele descrise mai înainte sînt monofazate. Pentru puteri mai mari se utilizează însă redresoare trifazate (fig. 18—7). Transformatorul T al redresorului este trifazat, iar redresorul are trei anozi A_1, A_2 şi A_3. Cele trei tensiuni trifazate U_1, U_2 şi U_3, pe care secundarul transformatorului le aplică asupra anozilor, sînt reprezentate grafic în figura 18 — 8. Se consideră de exemplu tensiunea U_1 corespunzătoare anodului A_1. Arcul anodului A_1 funcţionează pentru porţiunea trasată mai gros a curbei corespunzătoare tensiunii U_1.

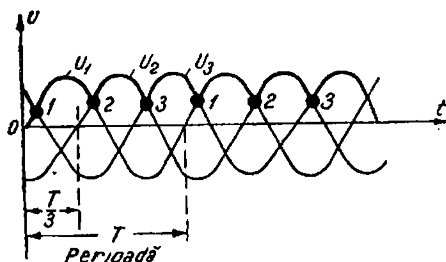


Fig. 18-8. Redresarea tensiunilor trifazate.

În punctul *2*, tensiunea U_2 a anodului A_2 devine mai mare decît tensiunea U_1, astfel încît arcul sare de pe anodul A_1 pe anodul A_2. În punctul *3*, tensiunea U_3 a anodului A_3 devine mai mare decît tensiunea U_2, iar arcul sare de pe anodul A_2 pe anodul A_3 ş.a.m.d. Tensiunea redresată U_c are forma arătată prin curba cu trăsături mai groase din figura 18 — 8, adică este mult mai apropiată de o tensiune continuă. Curentul redresat I_c are şi el o formă apropiată de aceea a unui curent continuu, cu atît mai mult cu cît în circuitul său se introduce bobina L pentru nivelarea ondulaţiilor.

Spre a se nivela şi mai mult ondulaţiile tensiunii redresate, se utilizează redresoare cu un număr mai mare de anozi, de exemplu 6. În acest caz, secundarul transformatorului are şase faze.

Relaţia dintre tensiunea pe fază U_r a reţelei trifazate de alimentare şi tensiunea medie redresată U este următoarea:

$$U_c = \frac{\sqrt{2}}{k} U_r \frac{n}{\pi} \sin \frac{\pi}{n}, \qquad (18.2)$$

în care:

k este raportul de transformare al transformatorului;
n — numărul de anozi, sau de faze în secundarul transformatorului.

În practică, vasul redresoarelor este confecţionat din sticlă pentru puteri mai mici şi din oţel pentru puteri mai mari.

În figura 18—9 este reprezentată schema constructivă a unui redresor monofazat cu vas de sticlă. Redresorul are doi anozi principali A_1 şi A_2, astfel încît redresează ambele alternanţe. Pentru a se aduce catodul de mercur C la temperatura necesară, se pune în funcţiune *anodul de aprindere* a_a, închizîndu-se întreruptorul I_a şi înclinîndu-se astfel vasul, încît mercurul anodului de aprindere a_a să vină în contact cu mercurul catodului C. În felul acesta se produce un mic arc iniţial. Pentru ca porţiunea incandescentă a catodului, numită *pata*

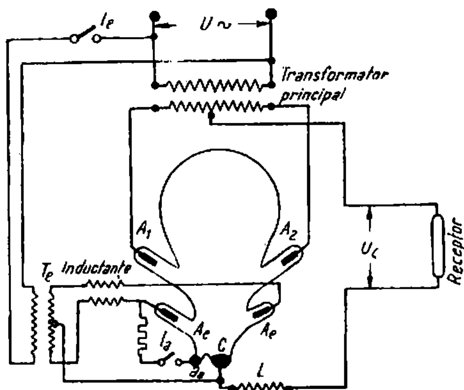


Fig. 18-9. Redresor cu vas de sticlă.

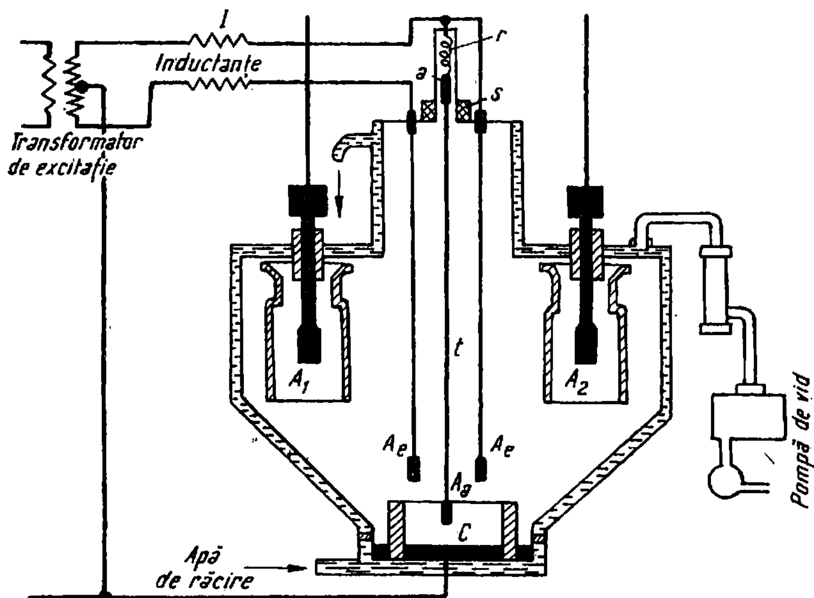


Fig. 18-10. Redresor cu vas metalic.

catodică, să se menţină şi la sarcini mici, sînt prevăzuţi anozii auxiliari A_e, numiţi anozi de *excitaţie* sau de *întreţinere*, alimentaţi separat prin transformatorul de excitaţie T_e, legat la reţea prin întreruptorul I_e.

În figura 18—10 este reprezentată schema constructivă a unui redresor cu vas metalic. În figură se văd numai doi anozi principali A_1 şi A_2. Aprinderea arcului principal se obţine cu ajutorul anodului de aprindere A_a, fixat la capătul inferior al tijei metalice *t*. La capătul superior, tija are o armătură *a* care poate fi atrasă de bobina *S*, deasupra căreia se găseşte resortul *r*. La punerea în funcţiune a redresorului, bobina atrăgînd armătura, cufundă anodul A_a în mercur. Întrerupîndu-se apoi curentul din bobină, resortul *r* ridică anodul A_a din mercur, făcînd să apară un mic arc, care provoacă aprinderea anozilor de excitaţie A_e şi care asigură, la rîndul lor, funcţionarea anozilor principali.

Redresoarele se utilizează pentru transformarea curentului alternativ în curent continuu (redresat) ca, de exemplu: pentru încărcarea bateriilor de acumulatoare (dacă se dispune numai de curent alternativ), pentru alimentarea tramvaielor (care au motoare de curent continuu), cu ajutorul energiei electrice date de o reţea trifazată şi altele.

Aceste redresoare au avantajul de a fi aparate fără piese rotative, cu greutate mică şi volum redus, cu un randament bun la orice sarcină.

Redresoarele cu mercur cu mai mulţi anozi pot fi polianodice, cînd toţi anozii se găsesc într-un singur vas, sau monoanodice, cînd fiecare anod îşi are vasul său.

Unele redresoare cu mercur monoanodice au un dispozitiv special de aprindere: în mercur se găseşte cufundată parţial o piesă numită *ignitor*. În momentul cînd trebuie să se aprindă arcul, se trece un curent electric prin ignitor şi mercur; se formează atunci un mic arc care provoacă aprinderea arcului principal, după care curentul electric prin ignitor se întrerupe pentru a fi produs din nou cînd este necesar să se reaprindă arcul principal. Asemenea redresoare se numesc *ignitroane* sau *redresoare ignitronice*.

La unele redresoare, între fiecare anod şi catod se găseşte un grătar metalic, numit grătar sau *grilă de comandă*. Grilele de comandă pot fi aduse, în anumite momente, printr-un dispozitiv special, la potenţiale pozitive sau negative faţă de catod. Dacă, de exemplu, grila corespunzătoare unui anod este negativă, arcul anodului respectiv nu se mai poate aprinde în momentul arătat în figura 18—8, deoarece electronii care vin spre anod sînt respinşi de grila negativă. Arcul se poate aprinde,

în acest caz, cu o anumită întîrziere, și anume atunci cînd grila a devenit pozitivă. Prin această întîrziere la aprinderea arcurilor se poate obține o modificare a curbei tensiunii redresate (fig. 18 — 11), ceea ce provoacă o reducere a tensiunii medii redresate. În felul acesta, prin variația întîrzierii se poate regla între anumite limite tensiunea medie redresată. În figura 18–11, U_{c1} reprezintă tensiunea medie redresată în cazul cînd nu există întîrziere la aprinderea arcurilor, iar U_{c2} în cazul cînd există o asemenea întîrziere.

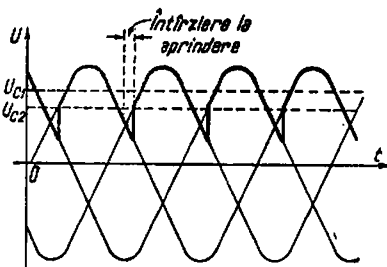


Fig. 18–11. Efectul întîrzierii la aprinderea arcului.

b. Redresoare uscate

Pentru puteri mai mici, se folosesc și redresoare uscate dintre care cele mai obișnuite sînt cu *cupru-oxid* și cu *seleniu.*

Redresorul cupru-oxid (fig. 18—12) este alcătuit dintr-o serie de elemente, fiecare element avînd o placă de cupru C și una de plumb P. Suprafața plăcii de cupru dinspre plumb este transformată în oxid de cupru (O) printr-un tratament termic. Un asemenea element lasă să treacă curentul numai în sensul plumb-cupru.

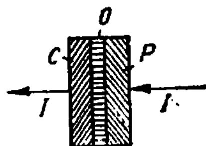


Fig. 18–12. Redresor cupru-oxid.

Redresorul cu seleniu (fig. 18 — 13) este alcătuit dintr-o placă de oțel nichelat O_n, un strat de seleniu S și un strat de metal ușor fuzibil M. S-a notat prin R o rondelă elastică, iar prin A și B, bornele aparatului. Printr-un astfel de redresor, curentul poate circula numai în sensul seleniu-oțel.

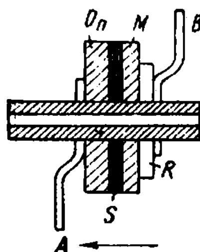


Fig. 18–13. Redresor cu seleniu.

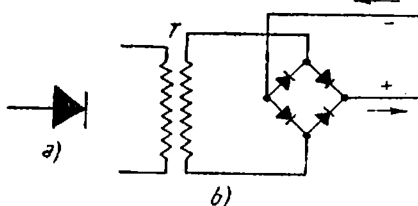


Fig. 18–14. Montaj în punte.

Redresoarele uscate se notează în schemele electrice ca în figura 18—14,*a*. Sensul săgeții arată sensul de circulație al curentului. Pentru a se putea redresa ambele alternanțe ale curentului, aceste redresoare se leagă între ele după diferite scheme, de exemplu, ca în *montajul în punte* reprezentat în figura 18—14,*b*, unde prin *T* s-a notat un transformator legat la rețeaua de curent alternativ.

În ultimul timp s-a început construirea redresoarelor uscate cu *siliciu* și *germaniu*.

c. Redresoare cu tuburi electronice

Principiul redresării cu ajutorul tuburilor electronice a fost descris în capitolul IX, paragraf 5. În cele ce urmează se dau cîteva scheme cu tuburi electronice redresoare.

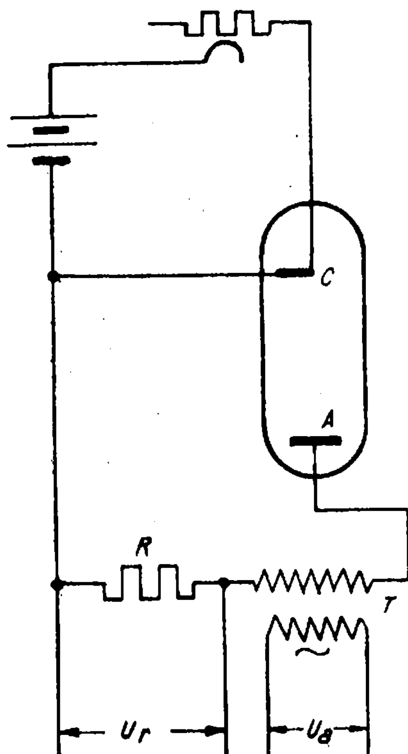


Fig. 18–15. Diodă redresoare.

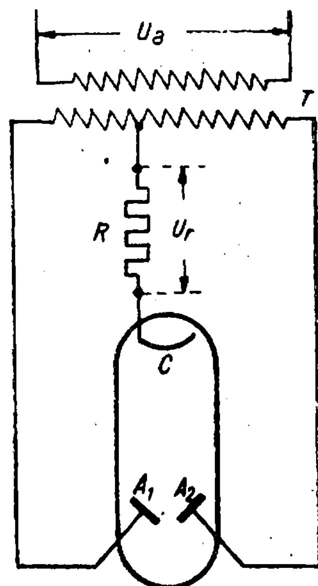


Fig. 18–16. Redresarea ambelor alternanțe printr-o diodă cu doi anozi.

Figura 18—15 reprezintă o diodă simplă redresoare. Cu această schemă se redresează în timpul unei perioade numai o singură alternanță. Tensiunea alternativă U_a, care trebuie redresată, este aplicată diodei prin intermediul transformatorului T, iar tensiunea redresată U_k, se obține la bornele rezistenței R.

Figura 18—16 reprezintă o diodă cu doi anozi A_1 și A_2, care redresează ambele alternanțe. Tensiunea alternativă U_a de redresat

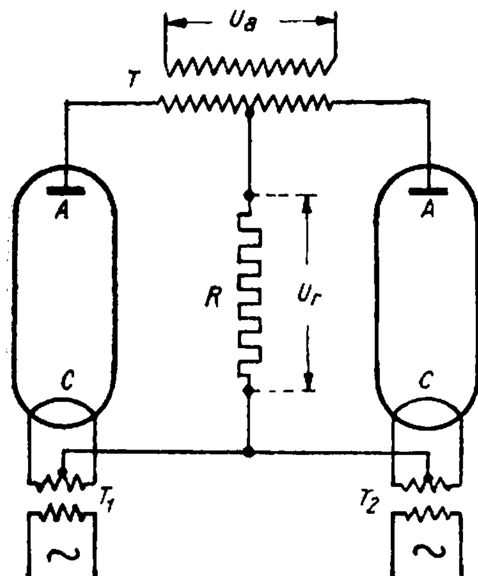


Fig. 18–17. Redresarea ambelor alternanțe cu două diode.

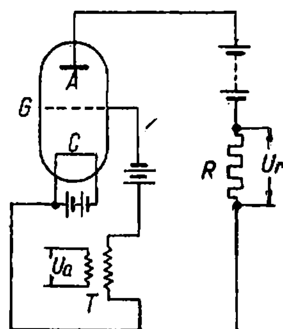


Fig. 18–18. Triodă redresoare.

se aplică și aici prin intermediul unui transformator T, obținîndu-se în U_r tensiunea redresată.

În figura 18—17 se prezintă o schemă cu două diode, care redresează, de asemenea, ambele alternanțe. U_a este tensiunea alternativă, care trebuie redresată, iar U_r este tensiunea redresată, T fiind un transformator. Cele două diode au catozii încălziți cu curent alternativ, prin intermediul transformatoarelor T_1 și T_2.

Figura 18—18 prezintă o schemă a unei triode redresoare. Tensiunea U_a care trebuie redresată este aplicată circuitului de grilă cu ajutorul transformatorului T, iar tensiunea redresată U_r este obținută la bornele rezistenței R din circuitul anodic.

Capitolul XIX

Iluminatul electric

1. Noţiuni generale: mărimi şi unităţi fotometrice de bază, sisteme de iluminat

Iluminatul artificial reprezintă, ca şi cel natural, o problemă de o importanţă deosebită în activitatea omului, deoarece s-a constatat practic că un iluminat de bună calitate îmbunătăţeşte condiţiile de muncă, reduce numărul de accidente şi evită apariţia unor boli profesionale, ca de exemplu, nistagmus (sau clipitul ochilor). În plus, un iluminat de bună calitate măreşte productivitatea muncii, asigură o folosire cît mai bună a uneltelor şi maşinilor de lucru, măreşte calitatea producţiei şi micşorează rebuturile.

Pentru a putea vedea, este necesar să existe un minimum de lumină. Crescînd iluminarea, ochiul începe să vadă din ce în ce mai bine. Datorită diferenţelor de culoare şi de strălucire a diferitelor puncte ale unui obiect, datorită umbrelor, ochiul distinge obiectele.

Mărind iluminarea peste o anumită limită, efectul de îmbunătăţire a vederii nu se mai simte, adică, deşi iluminarea creşte, vederea nu se îmbunătăţeşte mai mult, mărind iluminarea în continuare, obiectele devin strălucitoare, vederea începe să fie jenată şi se ajunge la orbire, adică omul nu mai distinge obiectele.

Dacă într-un spaţiu iluminat normal se reduce iluminarea, în primele momente se constată o scădere a vederii, dar după un timp oarecare, prin „adaptarea la obscuritate", ochiul începe să vadă din nou. Timpul pe care îl necesită adaptarea la obscuritate poate ajunge uneori la cîteva minute. (De exemplu, cînd se intră de la lumină într-o sală de cinematograf, în cursul spectacolului, la început, la lumina slabă dată de ecran, nu se pot distinge lucrurile şi oamenii din jur, dar după cîteva mi-

nute se pot vedea destul de bine rîndurile de scaune, oamenii, pereții etc.).

Pentru a distinge clar obiecte așezate la distanțe diferite, ochiul trebuie să se „acomodeze". Acomodarea necesită (ca și adaptarea) un timp cu atît mai scurt cu cît iluminarea este mai bună. Strălucirea intensă a unui obiect jenează vederea și îngreunează acomodarea.

O instalație de iluminat care nu ține seama de aceste necesități ale unei vederi în bune condiții va fi o instalație necorespunzătoare. (De exemplu, în apropierea tabloului de control al unei instalații nu trebuie să fie obiecte strălucitoare, cum este chiar cazul unei lămpi cu incandescență pentru iluminatul tabloului, dacă i se vede filamentul incandescent, atunci cînd privești spre tablou; în această situație, prin fenomenul de orbire produs de strălucirea filamentului incandescent, citirea indicațiilor aparatelor este stînjenită).

Mărimile și unitățile fotometrice principale pe baza cărora pot fi apreciate un iluminat și o instalație de iluminat oarecare sînt enumerate și descrise mai jos:

Fluxul luminos Φ este cantitatea de energie corespunzătoare radiațiilor vizibile emise, în unitatea de timp, de către un izvor de lumină; cu alte cuvinte, fluxul luminos emis de un izvor de lumină este puterea corespunzătoare radiațiilor care produc senzația de lumină.

Fluxul luminos se măsoară în lumeni. Lumenul (lm) este o unitate de putere de 650 ori mai mică decît wattul.

Intensitatea luminoasă. Pentru a înțelege această mărime se consideră o sferă de rază R în centrul căreia se află izvorul de lumină (fig. 19—1); pe suprafața acestei sfere se consideră o zonă cu o suprafață S prin care iese lumina. Raportul dintre suprafața S și pătratul razei sferei:

$$\Omega = \frac{S}{R^2},$$

se numește, după cum se știe, unghiul solid Ω sub care se vede din centrul sferei aria S.

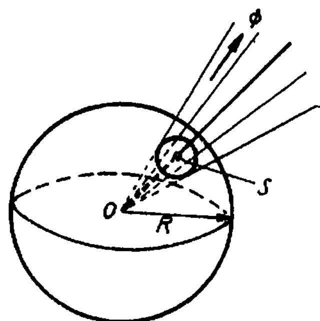


Fig. 19-1. Un izvor de lumină punctiform O emite un flux luminos Φ printr-un unghi solid $\Omega = \frac{S}{R^2}$

Raportul dintre fluxul luminos Φ emis printr-un unghi solid elementar Ω

şi unghiul solid elementar reprezintă intensitatea luminoasă I a izvorului de lumină în direcţia considerată:

$$I = \frac{\Phi}{\Omega}. \tag{19.1}$$

Cu cît fluxul emis într-un unghi solid este mai mare, cu atît şi intensitatea luminoasă pe direcţia respectivă va fi mai mare.

Intensitatea luminoasă se măsoară în *candele*. Candela (cd) este intensitatea luminoasă a unui izvor de lumină care emite un flux de un lumen, printr-un unghi solid unitate. Unghiul solid unitate este unghiul solid determinat de o suprafaţă $S = 1$ m^2 pe o sferă cu raza $R = 1$ m şi se numeşte steradian (str). (Cu alte cuvinte, unghiul solid unitate este acela determinat de o suprafaţă $S = R^2$ aşezată pe o sferă de rază R.)

Iluminarea E într-un punct al unei suprafeţe S este raportul dintre fluxul luminos Φ şi suprafaţa considerată:

$$E = \frac{\Phi}{S}. \tag{19.2}$$

Cu alte cuvinte, iluminarea este densitatea fluxului luminos care cade pe o suprafaţă.

Iluminarea se măsoară în *lucşi*. Luxul (lx) este iluminarea unei suprafeţe de 1 m^2 pe care cade un flux luminos de 1 lm, uniform repartizat.

Factor de eficacitate luminoasă η al unui izvor de lumină este raportul dintre fluxul luminos Φ emis de izvorul de lumină şi puterea P consumată de acel izvor pentru producerea fluxului Φ:

$$\eta = \frac{\Phi}{P}. \tag{19.3}$$

Factorul de eficacitate luminoasă se măsoară în lumen pe watt (lm/W). Cu cît factorul de eficacitate luminoasă este mai mare, cu atît izvorul de lumină respectiv, va produce, la aceeaşi putere consumată, un flux luminos mai mare.

Din fluxul luminos care cade pe un obiect, o parte se reflectă, o parte este absorbită de obiect, iar o parte poate fi transmisă mai departe.

Raportul dintre fluxul care se reflectă (flux reflectat Φ_r) şi fluxul care cade pe obiect (flux incident Φ_i) se numeşte factor sau coeficient de reflecţie ρ.

$$\rho = \frac{\Phi_r}{\Phi_i}. \tag{19.4}$$

Cu cît un material oarecare are un coeficient de reflecție mai mare, cu atît el va reflecta o parte mai mare din fluxul incident. Astfel, un perete sau o suprafață cu o culoare deschisă are un coeficient de reflecție mai mare decît una cu o culoare închisă (vezi tabela 19—6).

Iluminatul artificial poate fi de diferite feluri. Astfel, după locul unde se aplică, el poate fi:

— *iluminat interior* (în clădiri);

— *iluminat exterior* (în spații deschise, șantiere etc.).

După modul cum este iluminat locul de muncă, iluminatul poate fi:

— *iluminat general*, cînd asigură o iluminare uniformă pe o suprafață mai mare de lucru (iluminatul unei hale, o zonă a unui șantier etc.); iluminatul spațiilor destinate circulației publice este un alt exemplu de iluminat general și se numește iluminat public;

— *iluminat local*, cînd se asigură un iluminat mai bun unui loc de muncă de dimensiuni reduse (locul de lucru efectiv la un strung, la un birou etc.);

— *iluminat combinat*, obținut prin suprapunerea unui iluminat general cu un iluminat local.

După modul cum fluxul luminos emis de izvorul de lumină ajunge la suprafața utilă de lucru, iluminatul poate fi:

— *iluminat direct*, cînd circa 90% din fluxul emis de sursă cade direct pe suprafața de lucru (utilă);

— *iluminat indirect*, cînd circa 90% din fluxul emis de sursă ajunge la suprafața utilă după o reflecție (pe tavan, pereți și diverse elemente arhitecturale);

— *iluminat difuz*, cînd circa 40—60% din fluxul emis de sursă realizează un iluminat direct, iar restul, un iluminat indirect;

— *iluminat semidirect*, cînd numai 60—90% din fluxul emis realizează un iluminat direct;

— *iluminat semiindirect*, cînd numai 60—90% din fluxul emis realizează un iluminat indirect.

Ținînd seama de caracterul instalației de iluminat, iluminatul mai poate fi:

— *fix*, realizat prin instalații fixe;

— *mobil*, realizat prin instalații mobile (lămpi portative alimentate prin cablu flexibil de la rețeaua electrică);

— *portativ*, realizat prin instalații portative la care sursa de alimentare cu energie este înglobată în aparatul de iluminat portativ.

După scopul urmărit:

— *iluminat normal*, utilizat pentru lucru în condiţii normale;

— *iluminat de siguranţă*, utilizat în cazuri de avarie a iluminatului normal;

— *iluminat de pază*, utilizat pentru paza de noapte a şantierelor, clădirilor etc.

2. Izvoare de lumină

Izvoarele de lumină utilizate în mod curent sînt *lămpile cu incandescenţă* şi *lămpile cu fluorescenţă*. Pe lîngă acestea, mai sînt utilizate lămpile cu arc electric, lămpile cu descărcări în gaze şi în vapori metalici (mercur, sodiu).

În R.P.R., producţia izvoarelor de lumină este asigurată de întreprinderile Electrofarul şi Steaua electrică-Fieni, modern utilate.

a) *Lampa cu incandescenţă* sau *becul electric* (fig. 19—2) se bazează pe aducerea la incandescenţă (circa 2 800°C) a unui filament metalic cu ajutorul curentului electric. Pentru a împiedica distrugerea filamentului prin oxidare, acesta este închis într-un balon de sticlă în care se face vacuum sau se introduce un gaz inert (argon, azot, kripton). Lampa este conectată în circuit prin intermediul soclului ei, care se introduce în dulie. Soclul şi dulia pot fi cu filet rotund (fig. 19—2,*a*)

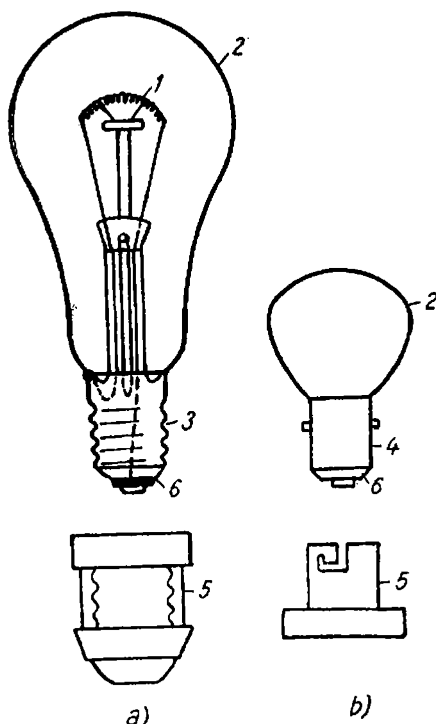


Fig. 19-2. Lampă cu incandescenţă:

a — cu soclu şi dulie cu filet rotund; *b* — cu soclu şi dulie baionetă: *1* — filament metalic; *2* — balon de sticlă; *3* — soclu cu filet rotund; *4* — soclu baionetă; *5* — dulie; *6* — izolaţie.

sau cu baionetă (fig. 19—2, *b*). Dulia are borne pentru conectarea ei la rețeaua electrică.

Factorul de eficacitate luminoasă a lămpilor cu incandescență este cuprins între 11 și 18 lm/W. Strălucirea filamentului este mare. Lămpile sînt construite pentru puteri pînă la 1 000 W și chiar mai mult. Durata utilă a unei lămpi cu incandescență se consideră de 1 000 ore de utilizare; după acest timp, datorită volatilizării în parte a filamentului, fluxul luminos scade cu 10—20% din valoarea sa normală inițială. Lampa cu incandescență este sensibilă la variațiile de tensiune; la o creștere de tensiune de 10% peste tensiunea nominală, crește fluxul luminos produs, însă durata de utilizare scade de circa 4 ori; la o scădere a tensiunii sub valoarea nominală, crește durata de utilizare dar se reduce sensibil fluxul luminos produs. De aceea, în rețelele de iluminat, tensiunea trebuie să rămînă cît mai constantă, la valoarea nominală.

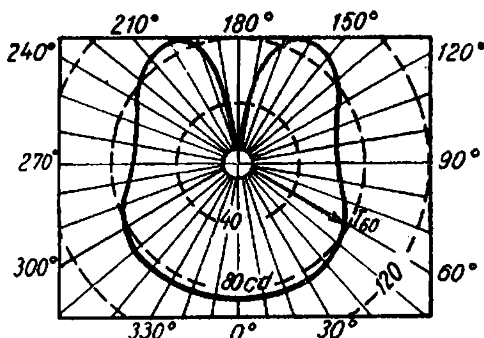


Fig. 19-3. Curba fotometrică polară meridiană a unei lămpi cu incandescență (de 1 000 lm).

Uneori, în calculele de iluminat este necesar să se cunoască intensitatea luminoasă pe care o produce lampa pe o anumită direcție. Acest lucru este dat în cataloage prin „curba fotometrică polară meridiană a intensității luminoase" a lămpii (sau a izvorului de lumină respectiv); curba fotometrică (fig. 19-3) reprezintă grafic intensitatea luminoasă pe diferitele direcții care trec prin centrul sursei. Astfel, în figura 19-3, direcției de 60° îi corespunde o intensitate luminoasă de $I_{\alpha=60°} = 80$ cd. De obicei, curba fotometrică este dată pentru o lampă cu un flux luminos de 1 000 lm; pentru o lampă cu aceeași construcție, dar cu un flux luminos Φ diferit de 1 000 lm, intensitatea luminoasă $I_{\alpha\Phi}$ corespunzătoare pe o direcție oarecare se calculează în funcție de intensitatea luminoasă $I_{\alpha 1000}$ dată de curbă pentru aceeași direcție corespunzătoare lămpii de 1 000 lm, aplicînd formula:

$$I_{\alpha\Phi} = \frac{\Phi}{1\,000} \cdot I_{\alpha 1\,000} = k_{\Phi} \cdot I_{\alpha 1\,000} \,. \tag{19.5}$$

Curbele fotometrice pot fi date și sub formă de tabele. Ele sînt date atît pentru diferitele tipuri și formații de lămpi, cît și pentru lămpi montate în corpuri de iluminat (vezi mai departe; de reținut că un corp de iluminat modifică repartizarea intensității luminoase a lămpii).

În tabela 19—1 sînt arătate caracteristicile principale ale lămpilor cu incandescență fabricate în patria noastră.

Tabela 19-1

Caracteristicile principale ale lămpilor cu incandescență
(NI 69/52)

Tensiune, în V	Putere, în W	Flux luminos, în lm	Socul	Tensiune, în V	Putere, în W	Flux luminos, în lm	Socul
120	15	120	E 27	220	25	190	E 27
	25	218	E 27		40	312	E 27
	40	372	E 27		60	515	E 27
	60	625	E 27		75	705	E 27
	75	840	E 27		100	1 040	E 27
	100	1 210	E 27		150	1 770	E 27
	150	2 020	E 27		200	2 540	E 27
	200	2 880	E 27		300	4 260	E 27, E 40
	300	4 680	E 27, E 40		500	7 350	E 40
	500	8 000	E 40		750	11 800	E 40
	750	12 600	E 40		1 000	16 700	E 40
	1 000	17 700	E 40				

b) *Lampa cu fluorescență.* Funcționarea lămpii cu fluorescență se bazează pe transformarea radiațiilor invizibile ultraviolete, în radiații vizibile, pe baza fenomenului de fluorescență. Radiațiile invizibile ultraviolete sînt produse de o descărcare electrică prin vapori de mercur și gaze conținute într-un tub la presiune scăzută. Din totalul radiațiilor produse, numai 15% sînt radiații violete vizibile, restul sînt radiații ultraviolete invizibile. Pe pereții tubului în care are loc descărcarea se află un strat de compuși chimici numiți luminofori, care fiind supuși acțiunii radiațiilor ultraviolete produc prin fluorescență radiații vizibile.

Factorul de eficacitate luminoasă a lămpilor cu fluorescență este de 33–35 lm/W, adică de 3-3,5 ori mai mare decît la lămpile cu incandescență. Strălucirea lămpii este mult mai redusă, de aproximativ 1 000 ori mai mică decît la ămpile cu incandescență. Durata de utilizare a lămpilor este de 3 000 h. Lămpile cu fluorescență se construiesc sub formă de tuburi (30—150 cm lungime) și pentru puteri de 20—150W: în funcție de compoziția gazelor introduse în tub ele pot da o lumină foarte apropiată de lumina zilei.

Lampa cu fluorescență nu este influențată de variațiile obișnuite de tensiune, n schimb ea este influențată de temperatură (la rece mercurul condensează, la temperaturi mai mari se reduce eficacitatea luminoasă a lămpii).

La tensiunea industrială cu frecvență de 50 Hz, lampa cu fluorescență se stinge de 100 ori pe secundă (la toate trecerile cu-

rentului prin zero); ca urmare, piesele care sînt în mişcare de rotaţie fiind luminate periodic, se văd fie stînd pe loc, fie mergînd cu o viteză diferită de aceea reală, sau uneori se văd rotindu-se chiar în sens invers decît în realitate; de asemenea, mişcînd repede mîna sau o unealtă oarecare, ochiul vede o succesiune de imagini care produce o jenă a vederii. Se spune că lampa produce un „efect stroboscopic". Cînd se folosesc mai multe lămpi, acest neajuns poate fi micşorat legînd lămpile între faze diferite ale reţelei.

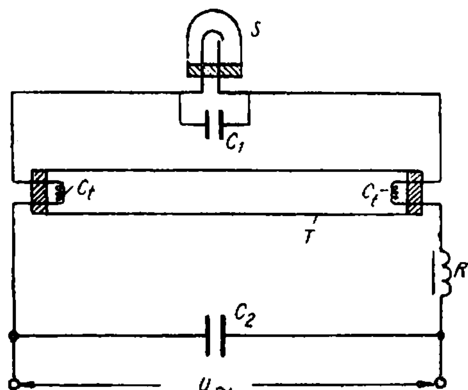


Fig. 19-4. Schema electrică a unei lămpi cu fluorescenţă, cu catozi calzi:

T — tub de sticlă; C_t — filamente metalice; *S* — starter; *R* — reactanţă de stabilizare (bobină de şoc); C_1, C_2 — condensatoare.

La lampa cu incandescenţă, datorită inerţiei filamentului, care rămîne incandescent chiar cînd curentul trece prin zero, efectul stroboscopic nu este practic observabil.

Lampa cu fluorescenţă a cărei schemă electrică este reprezentată în figura 19—4, cuprinde: tubul *T*, în care se produce descărcarea; cei doi catozi C_t, sub forma unor filamente metalice, aşezate la capetele tubului; o lampă specială *S*, numită starter; o reactanţă (bobină de şoc) de stabilizare *R*, formată dintr-un bobinaj aşezat pe un miez de fier; două condensatoare C_1 şi C_2.

Starterul *S* este o mică lampă cu descărcare în gaze (neon), la care unul din cei doi electrozi ai săi este executat dintr-o lamă bimetal.

Punînd lampa sub tensiune, între cei doi electrozi ai starterului (care în mod normal nu fac contact între ei) apare o descărcare luminescentă în neon. Această descărcare produce încălzirea electrozilor săi; electrodul bimetalic, deformîndu-se, face contact cu celălalt electrod, închizînd astfel circuitul filamentelor C_t ale lămpii. Filamentele sînt străbătute de curent, se încălzesc la 800—1 000°C şi emit electroni. Între timp, starterul se răceşte, şi la un moment dat, contactul dintre cei doi electrozi ai lui se deschide, întrerupînd curentul din circuitul filamentelor C_t; datorită reactanţei (inductive) *R*, la întreruperea curentului apare o supratensiune de cîteva sute de volţi care, aplicîndu-se la capetele tubului între filamente, amorsează descărcarea prin

tub între filamente și lampa intră astfel în funcțiune. Curentul de descărcare în lampă este limitat de reactanța de stabilizare; dacă ea ar lipsi, curentul ar crește la valori care ar distruge lampa. După intrarea în funcțiune a lămpii, tensiunea la capetele tubului scade sub tensiunea de aprindere a starterului și acesta nu mai funcționează. Dacă lampa nu s-a aprins după prima deschidere a contactelor starterului, acesta intră din nou în funcțiune, chiar de mai multe ori, pînă cînd lampa se aprinde. De aceea, lampa se aprinde în circa 1 minut. Există lămpi la care starterul este realizat cu ajutorul unui dispozitiv care conține un mic releu electrotermic și un releu electromagnetic.

O dată lampa aprinsă, deși catozii nu mai sînt străbătuți de curent, ei continuă să rămînă calzi datorită bombardamentului cu electrozii la care sînt supuși, ca urmare a descărcării din lampă.

Pentru ca funcționarea starterului să nu producă paraziți, starterul se șuntează cu un condensator C_1. Pentru a îmbunătăți factorul de putere a lămpii, care este redus datorită reactanței (inductive) de stabilizare, se folosește condensatorul C_2. În felul acesta, factorul de putere a lămpii este de 0,9—0,95.

În tabela 19—2 sînt arătate caracteristicile principale ale lămpilor cu fluorescență.

Tabela 19-2

Caracteristicile principale ale lămpilor cu fluorescență (U.R.S.S.)

Tensiun în V	Putere, în W	Flux luminos, lm		Dimensiunile tubului, mm	
		lumina albă	lumina zilei	lungime	diametru
127	8	272	—	305	16
127	12	325	—	320	25
127	15	540	465	450	25
127	20	760	660	600	38
220	30	1 230	1 080	900	25
220	40	1 720	1 520	1 200	38

Lampă cu vapori de mercur de înaltă presiune. În ultima vreme, în special la iluminatul public, se folosește o lampă cu vapori de mercur de înaltă presiune cu puteri de 50 la 1 000 W, la tensiunea de 220 V și 50 Hz (fig. 19—5). Lampa cu mercur, construită dintr-un tub de cuarț *1*, servește ca sursă de radiații ultraviolete; aceste radiații sînt transformate în radiații vizibile cu ajutorul unor substanțe fluorescente (luminofori) așezate pe pereții interiori ai balonului *2* al lămpii. Aprinderea lămpii se face prin intermediul unui electrod auxiliar *3*, și durează cîteva

minute, în care timp lumina crește progresiv o dată cu stabilirea descărcării între electrozii principali *4*.

Pentru a limita curentul prin lampă la o valoare nepericuloasă, se montează în serie pe circuit o reactanță inductivă *5*.

Dacă lampa este deconectată de la rețea și apoi conectată imediat, ea se stinge, dar nu se mai reaprinde decît după un anumit interval de timp.

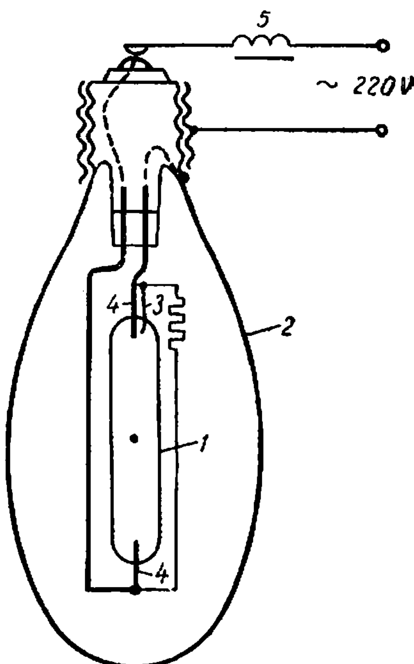


Fig. 19-5. Lampă cu vapori de mercur de înaltă presiune:

1 — tub de cuarț; *2* — balon de sticlă purtînd luminofori pe partea interioară; *3* — electrod auxiliar; *4* — electrozi principali; *5* — reactanță inductivă.

Ca izvoare de lumină, pe lîngă lămpile descrise, care se utilizează la iluminatul obișnuit, în practică se mai întîlnesc lămpi cu incandescență de construcție specială, folosite la aparatele de proiecție, la proiectoare sau alte aparate optice. De asemenea se mai întîlnesc în practică și alte tipuri de lămpi cu mercur sau cu alți vapori metalici, de exemplu, sodiu, și care au în general utilizări speciale.

Lămpile cu descărcări în gaze se întîlnesc sub formă de tuburi lungi (alimentate la tensiuni mari), la realizarea reclamelor luminoase, așa cum s-a mai arătat.

Un alt izvor de lumină utilizat în practică, în special la aparatele de proiecție (cinematograf), la proiectoarele mari și la heliografe este arcul electric în aer, stabilit între doi electrozi de cărbune[1].

—

[1] De fapt prima utilizare a energiei electrice la iluminat s-a făcut prin intermediul arcului stabilit între doi electrozi de cărbune, lampa respectivă fiind denumită lumînarea lui Iablocikov. Această lampă avea cărbunii așezați paralel, astfel încît arcul se menținea stabil pînă la arderea completă a electrozilor, fără să fie nevoie de vreun reglaj al distanței dintre ei.

3. Aparate de iluminat

Pentru folosirea practică, lămpile — izvoarele de lumină — sînt montate într-un complex de piese denumit armătură sau aparat de iluminat. Aparatele de iluminat au drept scop: să asigure alimentarea cu energie electrică a lămpii; să facă o redistribuire rațională a fluxului luminos în raport cu felul iluminatului; să evite efectul de orbire pe care l-ar produce strălucirea intensă a filamentului lămpilor cu incandescență; în unele cazuri, aparatul de iluminat trebuie să protejeze lampa contra deteriorării ei pe cale mecanică, contra murdăriei, contra efectelor dăunătoare ale mediului (praf, umezeală etc.), iar în alte cazuri, să protejeze mediul înconjurător contra temperaturilor ridicate (scîntei etc.) pe care le poate produce lampa. De aici rezultă și diferite moduri de execuție ale aparatelor de iluminat (execuție normală, protejată, etanșă, antideflagrantă etc.).

Aparatele de iluminat sînt:

— corpuri de iluminat;

— proiectoare.

Corpul de iluminat redistribuie astfel fluxul luminos, încît să se obțină iluminarea în bune condiții a unor suprafețe situate la distanțe relativ mici.

Proiectorul dirijează fluxul luminos într-un unghi solid mic, în scopul de a produce iluminări bune pe suprafețe situate la distanțe mari.

Corpurile de iluminat cele mai uzuale sînt arătate în tabela 19—3. Orice corp de iluminat cuprinde, ca elemente esențiale, o dulie pentru fixarea lămpii electrice și conectarea ei la rețeaua electrică și un sistem optic (globuri opale, reflectoare etc.), care asigură redistribuirea fluxului luminos. În funcționare, datorită prăfuirii, calitățile corpului de iluminat se depreciază. Se definește drept „factor de depreciere" Δ_c al unui corp de iluminat raportul:

$$\Delta_c = \frac{\Phi_c}{\Phi_{ci}} \qquad (19.6)$$

în care Φ_c este fluxul luminos mediu emis de corpul de iluminat în timpul funcționării, iar Φ_{ci} este fluxul luminos emis de același corp în condiții inițiale (șters de praf și neuzat). Așa cum se arată și în tabela 19—3, factorul de depreciere depinde de felul corpului de iluminat și de modul în care el este întreținut (șters de praf).

Proiectoarele folosite în general la iluminatul spaţiilor mari, de exemplu, lucrări de şantier, gări de triaj, faţade de clădiri, cinematografe etc. sînt de tipul proiectoarelor sovietice tip П3 (fig. 19–6) ale căror caracteristici principale sînt redate în tabela 19–4.

În afară de iluminatul şantierelor, proiectoarele sînt folosite şi pe vehicule, cînd se numesc faruri.

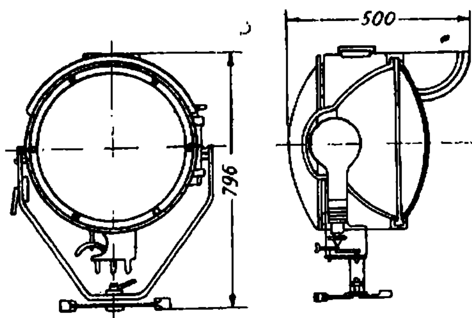


Fig. 19-6. Proiector tip П3.

Tabela 19–4

Caracteristicile principale ale proiectoarelor sovietice tip П 3

Tipul proiectorului	Tensiunea, în V	Puterea lămpii, în W	Intensitatea luminoasă maximă, în cd	Deschiderea utilă în plan: orizontal α°	Deschiderea utilă în plan: vertical β°	Fluxul luminos util (în deschiderea utilă), în lm	Randamentul: total, în %	Randamentul: în deschiderea utilă, în %
П3–35	110 220	500 500	70 000 40 000	28 33	19 20	3 200 2 200	52 52	38 38
П3–45	110 220	1 000 1 000	200 000 135 000	30 31	16 18	7 000 5 500	60 60	38 38

4. Calculul iluminatului cu corpuri de iluminat

Calculul iluminatului are drept scop stabilirea numărului şi puterii lămpilor, alegerea aparatelor de iluminat şi amplasarea lor, pentru a asigura un iluminat raţional al unei suprafeţe de lucru. Prin iluminat raţional se înţelege asigurarea unei iluminări minime necesare şi a unui factor bun de uniformitate a iluminării suprafeţei de lucru, evitînd efectele de orbire etc., în concordanţă cu recomandările normelor.

În tabela 19—5 sînt date cîteva valori ale iluminărilor minime recomandate pentru iluminatul cu lămpi cu incandescenţă la diferite lucrări. Trebuie menţionat că utilizarea iluminatului fluorescent tinde să mărească cu mult iluminările minime admise, faţă de iluminatul cu lămpi cu incandescenţă.

Tabela 19–5

Iluminări minime, recomandate pentru diferite lucrări

Locul	Iluminarea lx	Locul	Iluminarea lx
Ateliere mecanice....	30	Laboratoare	50
Lucrări la banc	75	Săli de club, săli de şedinţe	50
Maşini unelte	150—300	Vestibule	20
Hale de montaj	50	Coridoare, scări	10
Lucrări de montaj fine	150	Vestiare, duşuri, closete	15
Lucrări de precizie la trasaj	500	Săli de desen	100
Forje şi prese	50	Birouri de proiectare	75
Turnătorie	50	Birouri dactilografe	100
Vopsitorie şi emailaj	50	Birouri administrative	50
Ringuri şi selfactori (textile)	75	Cantine	50
Războaie la pînză şi urzeală	75—125	Bucătărie	50
		Străzi pe partea carosabilă	2—6
		Străzi pe trotuar ..	1—3

Pentru evitarea efectului de orbire, practic se cere ca unghiul sub care vede ochiul filamentul cu incandescenţă (unghiul dintre orizontală şi raza care uneşte filamentul incandescent cu ochiul) să fie mai mare decît 30°; în acelaşi scop se utilizează şi corpuri de iluminat care au o apărătoare din sticlă mată sau lăptoasă.

Metodele folosite în mod curent pentru calculul iluminatului sînt:
— metoda prin puncte;
— metoda fluxului luminos;
— metoda puterii specifice.

a) *Metoda prin puncte.* Cunoscînd poziţia unui punct A faţă de un izvor de lumină, aşa cum se arată în figura 19–7, se poate calcula iluminarea pe un plan orizontal E_o şi iluminarea pe un plan vertical E_v aplicînd relaţiile:

$$E_o = \frac{k_\Phi I_\alpha 1\,000 \cos^3\alpha}{k \cdot h^2} \qquad E_v = \frac{k_\Phi I_\alpha 1\,000 \cos^2\alpha \sin\alpha}{k \cdot h^2} \qquad (19.7)$$

în care:

E_0 şi E_v sînt iluminarea pe un plan orizontal, respectiv vertical, în lx;
$I_{\alpha\,1000}$ (în cd) şi k_Φ au semnificaţiile arătate la relaţia (19.5);
α — unghiul dintre verticală şi direcţia razei de lumină de la lampă la punctul considerat al suprafeţei iluminate;
h — înălţimea de suspendare a lămpii faţă de punctul considerat al suprafeţei iluminate, în m;
k — un coeficient de siguranţă care ţine seama de scăderea în timp a intensităţii luminoase produse de lampă, datorită deprecierii prin prăfuire şi îmbătrînire. Acest coeficient se ia $k = 1{,}2...2$.

În cazurile practice, se cunosc de obicei k_Φ şi $I_{\alpha\,1000}$ (prin alegerea lămpii şi corpului de iluminat); se cunosc de asemenea k, h şi α (prin amplasarea corpului de iluminat faţă de suprafaţa utilă); prin aplicarea formulelor (19-3) se verifică iluminările E_0 şi E_v, după caz.

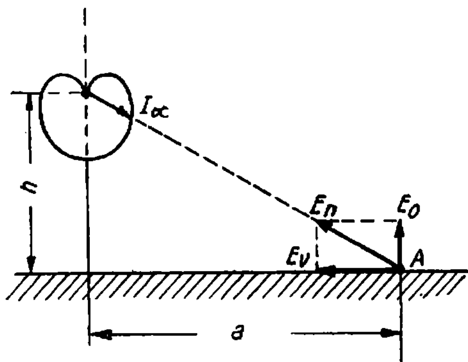


Fig. 19-7 Construcţie grafică pentru calculul iluminării folosind metoda prin puncte.

Cînd acelaşi punct este luminat de mai multe lămpi, iluminările date de fiecare lampă în punctul respectiv se adună.

Calculul iluminatului prin metoda prin puncte nu ţine seama de fluxul luminos reflectat de suprafeţele vecine spre suprafaţa utilă de lucru. De aceea, această metodă se aplică la calculul iluminatului spaţiilor deschise sau în încăperile cu pereţii de culoare închisă (hale industriale mari, iluminat public etc.).

b) *Metoda fluxului luminos* ţine seama de fluxul luminos reflectat de suprafeţele vecine şi nu necesită cunoaşterea curbei fotometrice a intensităţii luminoase a lămpii. Această metodă se aplică la calculul iluminatului camerelor la care pereţii şi tavanul măresc iluminarea suprafeţei utile, prin fluxul reflectat. În acest caz, fluxul total Φ_t necesar pentru a produce o iluminare minimă E_{min} pe o suprafaţă S se calculează folosind relaţia:

$$\Phi_t = \frac{E_{min} \cdot S \cdot k}{u \cdot Z}, \qquad (19.8)$$

în care: Φ_t este fluxul total, în lm;
E_{min} — iluminarea minimă în lx, conform normelor;
S — suprafaţa (orizontală) a încăperii iluminate, în m²;
k — 1,2...2, coeficient care ţine seama de scăderea fluxului luminos prin acoperirea cu praf a corpului de iluminat şi prin îmbătrînirea lămpii;
Z — un factor de corecţie pentru iluminarea minimă (care diferă de iluminarea medie); valoarea lui variază între 0,67 şi 0,97 după cum sînt aşezate lămpile; de obicei se ia 0,8;
u — coeficient de utilizare a fluxului luminos, care se determină

satisfăcător din tabela 19-6, în funcție de factorul de reflecție al pereților și tavanului, de tipul de corp de iluminat folosit și de indicile încăperii, i; acest indice se determină folosind relația:

$$i = \frac{a \cdot b}{h\,(a + b)} \tag{19.9}$$

unde a și b sînt lungimea și lățimea încăperii, în m, iar h este înălțimea corpului de iluminat deasupra suprafeței utile, în m (suprafața utilă se consideră la 0,8 m de podea).

Tabela 19-6

Coeficientul de utilizare a fluxului luminos (în %)

Indicele încăperii	Coeficient de reflecție		Coeficient de utilizare a fluxului luminos pentru un corp de iluminat (tabela 19-3)			
	Tavan %	Pereți %	Universal (1)	Reflector adînc (2)	Glob sferic (3)	Reflector emailat (6)
0,6	30	10	27	24	12	28
	50	30	30	27	16	32
	70	50	34	31	17	38
0,8	30	10	35	32	16	37
	50	30	38	34	20	41
	70	50	41	37	21	47
1,0	30	10	40	36	19	43
	50	30	42	38	22	47
	70	50	45	40	24	51
1,25	30	10	44	39	21	47
	50	30	45	41	24	51
	70	50	48	43	28	55
1,5	30	10	46	41	23	50
	50	30	48	43	27	53
	70	50	51	46	30	58
2	30	10	50	44	27	55
	50	30	52	46	30	59
	70	50	55	49	34	63
2,5	30	10	54	48	29	60
	50	30	55	49	33	64
	70	50	59	52	37	68
3	30	10	55	49	31	62
	50	30	57	51	35	65
	70	50	60	53	39	70
4	30	10	57	51	34	66
	50	30	59	52	38	68
	70	50	62	55	42	73
5	30	10	58	52	37	67
	50	30	60	54	40	70
	70	50	63	57	46	74

Numărul de lămpi n, necesare pentru iluminarea suprafeței S se determină acum în funcție de fluxul Φ_l al lămpii alese, folosind relația:

$$n = \frac{\Phi_t}{\Phi_l}. \qquad (19.10)$$

Cu cît numărul de lămpi este mai mare, cu atît se asigură o uniformitate mai mare a iluminării. În același scop se recomandă respectarea unor proporții între h și l (distanța dintre două corpuri de iluminat). Astfel se recomandă (pentru iluminatul interior incandescent): $\frac{l}{h} \leqslant 1{,}5$ — cînd corpurile de iluminat sînt plasate în colțurile unui dreptunghi. $\frac{l}{h} \leqslant 2$ — cînd corpurile de iluminat sînt așezate în zigzag.

Distanța D a corpului de iluminat față de perete se recomandă să fie:

$D = (0{,}4...0{,}5)\ l$ — cînd nu se lucrează lîngă perete;

$D = (0{,}25...0{,}3)\ l$ — cînd se lucrează lîngă perete.

c) *Metoda puterii specifice* se aplică pentru calculele orientative, expeditive și constă în a determina puterea P (în W) absorbită de lămpile necesare iluminării unei suprafețe S (în m²) aplicînd relația:

$$P = p \cdot S, \qquad (19.11)$$

în care p este puterea specifică (în W/m²) absorbită de lămpile necesare iluminatului, cunoscută pe bază de date statistice sau aproximată cu relația:

$$p = \frac{E_{min}}{3 \ldots 4}, \qquad (19.12)$$

(unde E_{min} se exprimă în lx).

Cunoscînd puterea P necesară și puterea unei lămpi, se poate determina numărul de lămpi electrice necesare.

5. Calculul iluminatului cu proiectoare

Pentru a stabili expeditiv numărul de proiectoare necesare să asigure o iluminare medie pe o suprafață, se poate aplica relația:

$$n = \frac{k_1 k_2 E_m S}{\Phi_u}, \qquad (19.13)$$

în care: n este numărul de proiectoare;

E_m — iluminarea medie necesară, în lx;

S — suprafața de iluminat, în m²;

Φ_u — fluxul util al proiectorului, în lm;

$k_1 = 1{,}15...1{,}5$ — coeficient de pierdere a fluxului luminos în părțile laterale, care ține seama că nu tot fluxul Φ_u este proiectat asupra suprafeței S;

$k_2 = 1{,}2...1{,}5$ — coeficient care ține seama de deprecierea proiectorului prin prăfuire.

Înălțimea și distanța la care se așază proiectorul se calculează în raport cu mărimea suprafeței de iluminat și cu deschiderea utilă a fasciculului luminos al proiectorului.

Capitolul XX

Alimentarea cu energie electrică a întreprinderilor industriale

1. Generalități

Energia electrică s-a impus, înlocuind treptat celelalte forme de energie, la acționarea diferitelor instalații în aproape toate ramurile de activitate, datorită următoarelor calități esențiale:

— energia electrică poate fi produsă în centrele electrice mari, situate în apropierea surselor naturale de energie (surse primare), cum sînt minele de cărbuni și căderile de apă;

— energia electrică poate fi ușor transportată la distanțe mari cu ajutorul liniilor electrice;

— motoarele electrice sînt simple, sigure în funcționare și se adaptează cel mai bine la acționarea diferitelor utilaje;

— instalațiile electrice se manevrează și se întrețin ușor și comod;

— energia electrică dă posibilitatea realizării unor condiții optime de lucru (lipsa zgomotului, iluminat de bună calitate, curățenie);

— energia electrică revine în general mai ieftină decît alte forme de energie, iar instalațiile electrice au randamentele cele mai bune.

În afară de acestea, mecanizarea și automatizarea sînt de neconceput fără energia electrică. Or, se știe că mărirea producției și a productivității muncii se bazează în mod deosebit pe mecanizare și automatizare. În concluzie, se impune evident necesitatea unei acțiuni susținute de „electrificare". Această acțiune a fost înțeleasă și sprijinită la noi în țară numai în anii de democrație populară. Cu ocazia expunerii obiectivelor planului de electrificare a patriei noastre, tovarășul Gheorghe Gheorghiu-Dej a arătat că, „electrificarea se impune ca o sarcină de cea mai mare urgență și însemnătate. Lichidarea înapoierii econo-

mice şi culturale a ţării pe baza trecerii la marea producţie socialistă în industrie şi agricultură este de neconceput fără electrificare"[1].

Pentru aceasta, în ţara noastră s-au construit şi se construiesc surse puternice de energie electrică numite centrale electrice.

Ca urmare a acestui fapt, producţia de energie electrică din ţara noastră era în 1960 de peste 7,7 mil kWh, adică de peste 7 ori mai mare decît producţia de energie electrică realizată în 1938 de regimul burghezo-moşieresc; conform sarcinilor trasate de Congresul al III-lea al P.M.R. producţia de energie electrică va fi în 1965 de 2,7 ori mai mare decît în 1959, realizînd nivelul de 18 500 kWh. Acesta este unul din factorii care vor asigura dezvoltarea bazei tehnico-materiale a socialismului în ţara noastră, astfel ca pînă în 1965 să fie încheiat procesul de făurire a relaţiilor de producţie socialiste în întreaga economie, în vederea desăvîrşirii construcţiei socialismului.

De la centrale, energia electrică este transportată şi distribuită, prin intermediul reţelelor electrice, la diferitele receptoare (întreprinderi, gospodării agricole de stat, oraşe, sate etc.). Pentru a transporta energia electrică în condiţii economice, adică cu cheltuieli minime, transportul ei se face la tensiuni înalte (peste 1 000 V). Din motive economice şi de securitate, utilizarea energiei electrice la receptoare se face în general la tensiuni joase. De aceea este necesar ca energia să fie transformată la diferite tensiuni cu ajutorul staţiilor şi posturilor de transformare. Tot ansamblul format de reţele, staţii de transformare şi centrale electrice (care funcţionează în paralel) formează un *sistem energetic*, care alimentează cu energie electrică una sau mai multe regiuni. În prezent, la noi în ţară sistemele energetice regionale sînt interconectate, formînd un *sistem energetic naţional*.

În cazuri rare, diferitele receptoare pot fi însă alimentate şi din centrale electrice locale (atunci cînd sînt în locuri izolate, ca, de exemplu, şantiere şi sate depărtate de sistemul naţional).

Cînd puterea centralei este mică, aceasta se numeşte *microcentrală* şi poate fi realizată chiar ca o construcţie transportabilă.

În general, producerea şi utilizarea energiei electrice se fac în curent alternativ cu o frecvenţă de 50 Hz. Atunci cînd receptoarele necesită curent continuu, acesta se produce local cu ajutorul redresoarelor, al grupurilor convertizoare (v. capitolul XVIII) sau cu ajutorul grupurilor electrogene de curent continuu (vezi mai jos).

---

[1] Articole şi cuvîntări, ed. III, E.P.L.P., pag. 480.

2. Producerea şi transportul energiei electrice

Producerea energiei electrice se face în centralele electrice. Centrala electrică este complexul de instalaţii, în care o formă oarecare de energie este transformată în energie electrică. De obicei, energia electrică este produsă într-o centrală cu ajutorul grupurilor electrogene. Grupul electrogen este format dintr-un motor primar care antrenează un generator electric. Motorul primar produce energia mecanică (absorbită de generator) pe baza energiei termice obţinute prin arderea combustibililor sau a reacţiilor nucleare, pe baza energiei hidraulice (energia căderilor de apă, a mareelor), pe baza energiei eoliene (energia vîntului) etc.

Privind în mare construcţia unei centrale electrice, ea cuprinde două părţi principale distincte, numite de obicei *partea mecanică* şi *partea electrică*. Partea mecanică cuprinde tot complexul de instalaţii prin care, în ultima fază, se produce energie mecanică la arborele generatorului. Partea electrică începe cu generatorul şi cuprinde şi celelalte instalaţii electrice (staţii de conexiune şi de transformare, tablouri de distribuţie) prin care energia electrică este trimisă spre locurile de utilizare sau la liniile de transport al energiei electrice.

După natura sursei primare de energie, centralele electrice pot fi: termice (termocentrale), hidraulice (centrale hidroelectrice), eoliene, atomice etc.

După tipul motoarelor primare folosite, centralele pot fi: cu maşini cu abur, cu turbine cu abur, cu turbine hidraulice, cu turbine cu gaze, cu motoare cu ardere internă (motoare Diesel, motoare cu benzină) etc.

După amplasarea, destinaţia şi puterea lor, centralele pot fi: regionale (care satisfac necesităţile unei regiuni), urbane (satisfac necesităţile unei localităţi) şi de întreprindere sau de uzină (care satisfac necesităţile proprii ale unei întreprinderi, uzine, gospodării agricole etc.).

Energia electrică se produce în centrală pe măsură ce ea se consumă. Deoarece puterea cerută de receptoare variază în decursul timpului, variază în mod identic şi puterea produsă de centrală. Puterea produsă de centrala electrică la un moment dat se numeşte *sarcina centralei*. Reprezentarea grafică a variaţiei sarcinii centralei pe o anumită perioadă de timp se numeşte *curba de sarcină*, pe perioada respectivă (zi, lună, an). Pentru

ca o centrală să funcționeze cît mai economic, este necesar ca sarcina ei să fie cît mai constantă, iar generatoarele care sînt în funcție să fie încărcate cît mai aproape de puterea lor nominală (în această situație, centrala funcționează cu randamentul cel mai ridicat).

Randamentul unei centrale, adică raportul dintre puterea utilă produsă de generatoare și puterea consumată de centrală (prin combustibil, apă etc.) este de ordinul 27—28%, în cazul termocentralelor cu turbine cu abur și de 32—33%, în cazul centralelor cu motoare cu ardere internă.

Pentru a mări economicitatea unei centrale termoelectrice cu turbine de abur, ea se face cu termoficare. În acest caz, pe lîngă energie electrică, centrala produce și abur sau apă caldă pentru diferitele receptoare; datorită acestui fapt, randamentul centralei crește la 60—70%.

Suma puterilor generatoarelor instalate într-o centrală reprezintă „puterea instalată a centralei". Puterile instalate ale centralelor mari, construite în prezent în țara noastră, sînt de ordinul zeci pînă la sute de MW.

În cazul grupurilor de receptoare care cer în total o putere redusă, cum sînt gospodăriile agricole, stațiunile de mașini și tractoare, șantierele mici etc., atunci cînd acestea sînt depărtate de rețelele electrice, pentru alimentarea lor cu energie se utilizează grupuri electrogene formate dintr-un motor Diesel sau semidiesel care antrenează un generator cu o putere de 18, 30 sau 50 kVA la o tensiune nominală de 3 × 380/220 V și o frecvență de 50 Hz.

Grupurile sînt prevăzute cu tablouri de comandă care cuprind tot aparatajul de conectare, reglaj, protecție și măsură necesar, montat atît pe circuitul generatorului, cît și pe circuitele diferitelor plecări spre receptoare. Uneori, grupurile sînt montate pe o sanie sau chiar pe roți, pentru a fi ușor transportabile.

Pentru exemplificare, în figura 20—1 este reprezentat un grup electrogen fabricat în patria noastră, compus dintr-un motor Diesel de 45 CP (ca motor primar) care antrenează un generator trifazat (alternator) cu o putere de 30 kVA, tensiune de 3 × 380/220 V și frecvența de 50 Hz. Turația grupului este de 1 500 rot/min. Grupul este prevăzut cu un tablou de comandă și control echipat cu: aparate de conectare (întreruptoare), aparate de măsură (voltmetru, frecvențmetru, ampermetru), aparate de reglaj (reostat și regulator automat de tensiune), aparate de protecție (releele cuprinse în construcția între-

ruptorului). Tabloul este prevăzut cu două lămpi de semnalizare.

Energia electrică produsă de centrale este transportată în general la distanțe mari, cu ajutorul liniilor electrice. Cu cît

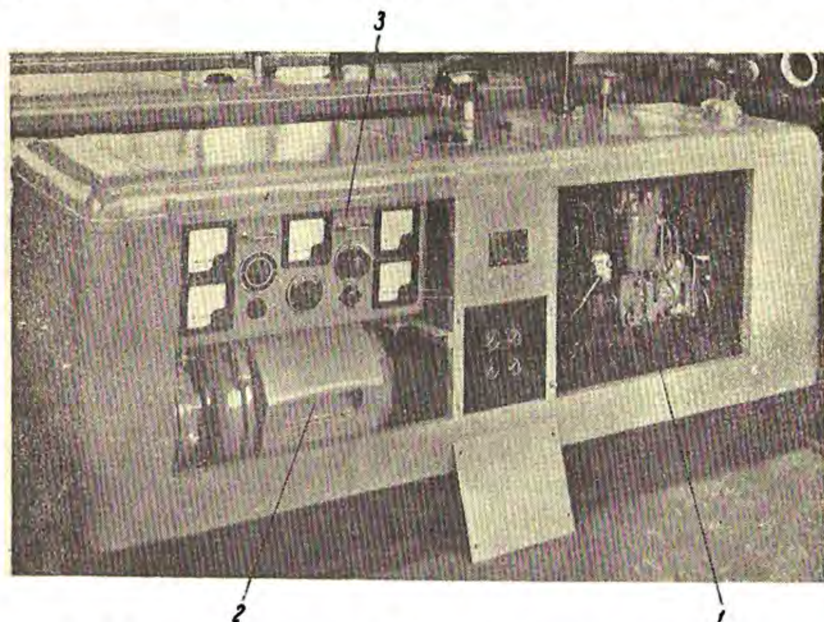


Fig. 20-1. Grup electrogen de 30 kVA, 3 × 380/220 V, 50 Hz (microcentrală transportabilă):

1 — motorul primar; 2 — generatorul trifazat (alternatorul); 3 — tabloul de comandă și control.

distanța de transport este mai mare, cu atît și tensiunea adoptată pentru linia de transport este și ea mai mare (aproximativ, tensiunea liniei exprimată în kV este numeric egală cu lungimea de transport în km). Aceasta se justifică astfel: la aceeași putere transportată, cu cît tensiunea este mai mare, cu atît curentul care trece prin linie va fi mai mic, necesitînd o secțiune de conductor mai mică, și deci investiții mai reduse. Tensiunile folosite la transportul energiei electrice sînt tensiunile standardizate de 220; 110; 35; 15; 10 și 6 kV. În afară de acestea, în țara noastră se mai folosesc și tensiunile de 60 kV; 25 kV și 5,5 kV (nestandardizate).

3. Stații și posturi de transformare

Stațiile și posturile de transformare folosite în întreprinderile industriale au drept scop să reducă valoarea tensiunii energiei electrice de la tensiunile cu care a fost transportată, la tensiunile necesare distribuirii și utilizării ei la receptoare (vezi capitolul XX—4).

După destinația lor, stațiile de transformare pot fi: *stații de transformare principale* (stația *ST* din figura 20—6,*b*), *stații de transformare secundare* sau *posturi de transformare* (*PT*, figura 20—6, *b*) etc. De obicei, prin post de transformare se înțelege stația de transformare, în general de putere mică (de ordinul cel mult a cîtorva sute de kVA) care alimentează receptoarele de joasă tensiune; cînd el alimentează un atelier sau un grup de receptoare dintr-un atelier se numește chiar post (stație) de atelier. Stația de transformare principală este o stație care alimentează, în afară de unele receptoare, și posturile de transformare.

În funcție de locul unde sînt montate, stațiile și posturile de transformare pot fi: *exterioare* sau *interioare*. Stațiile exterioare se montează în aer liber pe sol sau pe stîlpi speciali; cele interioare sînt montate în încăperi zidite special.

După numărul de transformatoare pe care le cuprind, stațiile și posturile de transformare ale întreprinderilor pot fi *cu unul* sau *cu mai multe transformatoare*; în cele mai dese cazuri, pentru a se asigura în bune condiții alimentarea neîntreruptă cu energie electrică a întreprinderii, se folosesc două transformatoare; mai rar se folosesc un număr de cel mult trei transformatoare.

Pentru exemplificare, în figura 20—2 este reprezentată construcția unui post de transformare de tip interior, cu două transformatoare, iar în figura 20—3, schema electrică monofilară a unui post de transformare de tip exterior pe stîlp.

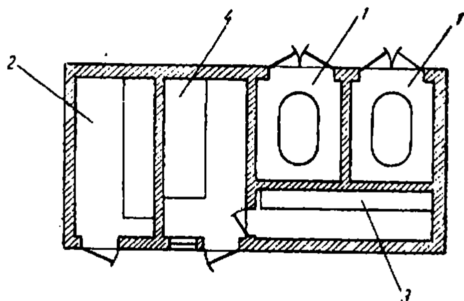


Fig. 20–2. Stație (post) de transformare, de tip interior, cu două transformatoare:

1 — boxele transformatoarelor; *2* — camera aparatajului de înaltă tensiune; *3* — camera aparatajului de joasă tensiune; *4* — încăperea condensatoarelor statice pentru îmbunătățirea factorului de putere.

Schemele electrice pot fi multifilare sau monofilare. Într-o schemă multifilară diferitele circuite sînt reprezentate complet, fiecărui conductor corespunzîndu-i pe desen o linie. În schema monofilară, diferitele circuite sînt reprezentate simplificat prin cîte o singură linie, chiar dacă circuitul respectiv are mai multe conductoare. Numărul de conductoare pe care îl conține circuitul poate fi totuși indicat printr-un număr scris alături de o liniuță care taie oblic circuitul respectiv (fig. 20—3). Schemele monofilare simplifică desenul și sînt indicate atunci cînd se arată schema de principiu a unei instalații.

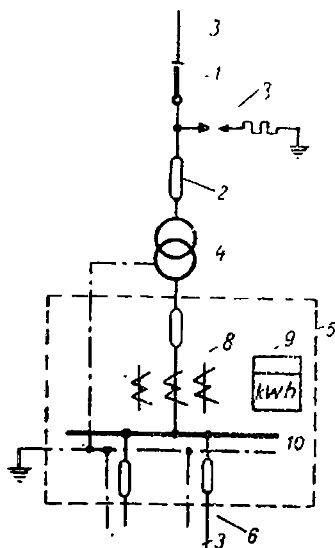


Fig. 20–3. Post de transformare de 6/0,4 kV, 25—100 kVA, de tip exterior pe stîlp de beton armat centrifugat:

1 — separator; *2* — siguranțe tubulare; *3* — descărcător; *4* — transformator; *5* — cutia cu aparatajul de joasă tensiune; *6* — plecări de joasă tensiune; *7* — dispozitivul pentru acționarea separatorului; *8* — transformatoare de curent; *9* — contor de energie activă; *10* — bare colectoare.

Stațiile și posturile de transformare cuprind unul sau mai multe circuite de înaltă tensiune și o serie de circuite de joasă tensiune. Cînd la înaltă tensiune sînt mai multe circuite (sosiri de la sursa de energie, plecarea la transformatoare, sau eventual plecări spre alte consumatoare de înaltă tensiune), aceste circuite sînt legate la bare colectoare comune pentru toate circuitele.

În mod asemănător, la joasă tensiune, sosirile de la transformatoare și plecările spre receptoare sînt legate tot la bare colectoare comune. Pe fiecare circuit, atît la înaltă, cît și la joasă tensiune, se montează aparatele de conectare, de protecție și de măsurat necesare (vezi schema din figura 20–3). Cu cît postul este de putere mai mică, cu cît numărul de transformatoare este mai redus și postul are importanță mai mică, cu atît și aparatele folosite sînt mai simple și mai puține pentru a nu ridica costul construcției. În cazul stațiilor și posturilor zidite, aparatajul de înaltă tensiune se montează într-o încăpere separată, în care are acces numai personalul tehnic cu o calificare specială, iar transformatoarele se montează în boxe speciale, astfel amenajate încît să favorizeze răcirea transformatoarelor; pentru a limita efectele unui incendiu produs prin aprinderea uleiului în cazul exploziei cuvei, sub transformatoare se prevede uneori un canal colector de ulei.

Atunci cînd aparatele de joasă tensiune sînt puține, ele se montează într-o simplă nișă cu uși metalice, prevăzută în peretele exterior al postului.

Pentru lucrări de șantier se construiesc și posturi de transformare prefabricate, transportabile pe sanie sau pe roți.

Puterea transformatoarelor instalate într-un post de transformare trebuie să poată acoperi puterea cea mai mare cerută în funcționare normală de receptoarele alimentate. Pentru aceasta trebuie să se țină seamă de faptul că nu toate receptoarele funcționează simultan și nu toate receptoarele sînt încărcate în permanență la puterea lor nominală; alcătuind o tabelă în care se indică la fiecare oră puterea cerută de fiecare receptor, se poate trasa o curbă de sarcină a receptoarelor și în felul acesta se determină puterea cea mai mare cerută de ele, în funcționare normală. Tot pe această cale se poate observa că organizînd procesul de producție într-un mod corespunzător, pot fi reduse vîrfurile de putere ale curbei de sarcină sau, cum se spune, se poate „aplatisa“ curba de sarcină. Aplatisarea curbei de sarcină dă posibilitatea alimentării aceluiași grup de receptoare de la o stație sau un post de transformare cu o putere mai mică, ceea ce înseamnă reducerea volumului investițiilor și deci reducerea prețului de cost.

4. Distribuția energiei electrice

a. Generalități

Energia electrică sosită în cuprinsul unei întreprinderi sau al altui consumator de energie sau produsă local este distribuită spre fiecare receptor în parte, cu ajutorul rețelelor electrice și a posturilor de transformare.

Oricare ar fi schema adoptată, alimentarea cu energie electrică trebuie să îndeplinească următoarele condiții principale:

— Să asigure *alimentarea neîntreruptă cu energie* a receptoarelor.

Din acest punct de vedere receptoarele se împart în trei categorii:

Receptoare de categoria I, la care întreruperea alimentării cu energie este legată de securitatea oamenilor, de producerea de rebuturi, deteriorări de utilaje sau perturbări mari în procesul tehnologic. Aceste receptoare trebuie prevăzute cu o alimentare de rezervă.

Receptoare de categoria a II-a, la care întreruperea alimentării cu energie produce numai o scădere importantă a producției. În acest caz, pe bază de considerente tehnico-economice, se prevede sau nu o alimentare de rezervă.

Receptoare de categoria a III-a sînt receptoarele puțin importante, la care nu se prevede o alimentare de rezervă (ex. locuințe, ateliere auxiliare etc.)

— Să asigure furnizarea unei energii de bună calitate, adică la o tensiune care să nu difere practic cu mai mult decît $\pm 5\%$

față de tensiunea nominală. Variațiile de tensiune sînt foarte supărătoare pentru iluminatul electric, deoarece produc pîlpîiri ale luminii (cînd frecvența pîlpîirilor ajunge la 6—8 pîlpîiri pe secundă, pîlpîirile de lumină sînt extrem de obositoare pentru vedere).

— Să fie economică, adică să fie realizată cu un consum minim de materiale (în special neferoase), iar în funcționare pierderile de putere în rețea și transformatoare să nu depășească anumite limite.

— Să asigure o rezervă de putere pentru extinderile de viitor.

— Să prezinte securitate la deservire.

b. Tipuri de rețele și tensiuni folosite la distribuirea energiei electrice

Ținînd seama de felul receptoarelor, rețelele pot fi: *de forță*, cînd receptoarele sînt motoarele mașinilor de lucru, rezistențele cuptoarelor mari etc., sau *de lumină*, cînd receptoarele sînt lămpile de iluminat.

Rețelele electrice pot fi de asemenea *de curent continuu* sau *de curent alternativ*. Rețelele de curent continuu, a căror schemă principială este reprezentată în figura 20—4, pot fi *complet izolate față de pămînt* (ca la troleibuze) sau *cu unul din conductoare legate la pămînt* (ca în cazul rețelei tramvaielor). Tensiunile folosite sînt 110, 220 și 440 V sau, în cazul tracțiunii electrice, de 250, 500 și 750 V. Utilizarea rețelelor electrice de curent continuu este astăzi limitată la tracțiunea electrică și la utilizări speciale în unele industrii (electroliză, galvanizare, pe nave mici, acționări electrice cu reglaj de viteză în limite mari etc.).

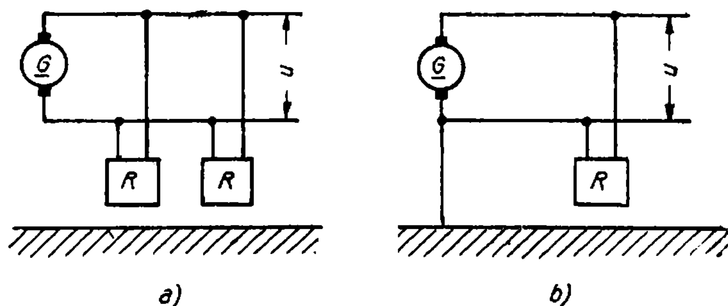


Fig. 20-4. Schemele de principiu ale rețelelor de curent continuu: *a* — complet izolate față de pămînt; *b* — cu un pol legat la pămînt; *R* — receptor.

Rețelele de curent alternativ (figura 20—5) pot fi *monofazate* sau *trifazate* și pot fi, de asemenea, *complet izolate față de pămînt* sau *cu un punct legat la pămînt*. Rețelele monofazate complet izolate față de pămînt (fig. 20—5,*a*) sînt utilizate la iluminatul portativ cu tensiune redusă, la unele circuite de comandă etc. Tensiunile folosite sînt: 12, 24, 36, 48, 110, 120, 127 și chiar 220 V. Rețelele monofazate cu un conductor legat la pămînt (fig. 21-5,*b*) se întîlnesc la rețelele obișnuite de iluminat, la alimentarea receptoarelor monofazate etc.

Rețelele trifazate pot fi *cu trei conductoare* (fig. 20—5,*c* și *d*) sau *cu patru conductoare* [trei conductoare de fază și conductorul neutru (fig. 20—5,*e*), avînd neutrul legat la pămînt sau izolat]. Rețeaua cu patru conductoare are avantajul că dispune de două tensiuni: tensiunea de linie și tensiunea de fază. Rețeaua cu patru conductoare și neutrul legat la pămînt este utilizată cel mai mult la joasă tensiune, pentru alimentarea receptoarelor de forță și lumină. Receptoarele de forță trifazate sînt conectate între faze la 380 V; receptoarele de lumină, cele de forță monofazate și de putere mai mică sînt conectate între o fază și firul neutru, la 220 V.

Rețeaua cu trei conductoare cu neutrul izolat se utilizează: la înaltă tensiune (6 kV), la joasă tensiune în rețelele care alimentează numai receptoare de forță (1 000 V și 500 V), la rețele care

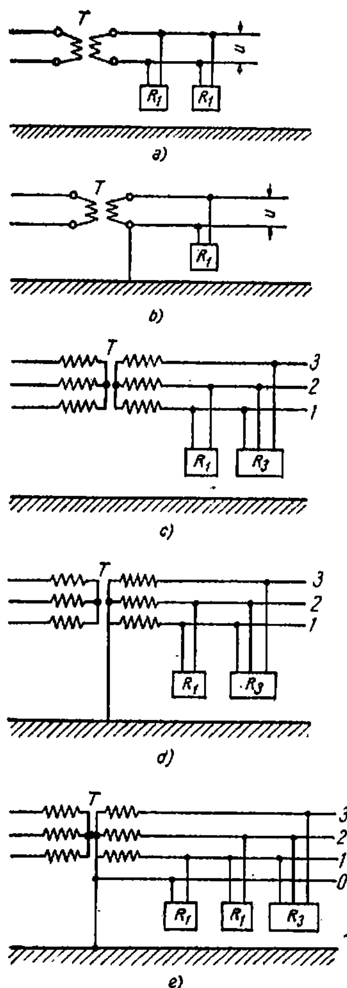


Fig. 20-5. Schemele de principiu ale rețelelor de curent alternativ:
a — monofazată, complet izolată față de pămînt; *b* — monofazată, cu un conductor legat la pămînt; *c* — trifazată, cu trei conductoare, cu punctul neutru izolat; *d* — trifazată cu trei conductoare cu neutrul legat la pămînt; *e* — trifazată, cu patru conductoare, cu neutrul, legat la pămînt; R_1 — receptor monofazat; R_3 — receptor trifazat.

lucrează în condiții grele din punctul de vedere al tehnicii securității (de exemplu în exploatări miniere subterane, 380 V).

Tensiunile nominale (de linie) folosite pentru rețelele trifazate de distribuție sînt: 127, 220, *380*, *500*, 1 000, 3 000 și *6 000* V[1]. În prezent, se studiază posibilitatea folosirii pentru receptoarele de forță a tensiunilor de 660 V $= \sqrt{3} \cdot 380$ V sau 865 V $= \sqrt{3} \cdot 500$ V Tendința de a mări tensiunea la receptoarele de forță este impusă de creșterea puterii receptoarelor industriale și de necesitatea construirii rețelelor și posturilor de transformare cu investiții minime.

Receptoarele de forță de putere mare sînt alimentate la tensiunea de 500 V, 1 000 V sau chiar 6 000 V(cazul receptoarelor cu puteri mai mari decît 150—200 kW).

În general, la întreprinderi, energia electrică este adusă la înaltă tensiune (fig. 20—6,*a*); apoi, printr-un singur post de transformare *PT* ea este transformată la tensiunea necesară (380 V) și distribuită receptoarelor *R* prin intermediul unor puncte de distribuție *PD* (vezi capitolul XII); sistemul se numește „distribuție centralizată". De multe ori, la întreprinderile mai mari, există o stație de transformare *ST* care alimentează cu tensiune înaltă (de obicei 6 kV) mai multe posturi de transformare *PT* care alimentează la rîndul lor — la joasă tensiune (380 V) grupe mari de receptoare; sistemul acesta se numește „distribuție repartizată" și este reprezentat schematic în figura 20—6,*b*.

Cînd receptoarele unei întreprinderi sînt de puteri mici și nu sînt numeroase, astfel încît nu totalizează o putere mare, întreprinderea este alimentată direct la joasă tensiune, de la un post de transformare apropiat, care deservește mai mulți consumatori.

În funcție de modul cum alimentează cu energie electrică diferitele receptoare, rețelele electrice pot fi: *rețele deschise*, *arborescente* sau *radiale*, la care receptoarele sînt alimentate dintr-o singură parte (fig. 20—6) și *rețele închise* sau *rețele buclate*, la care receptoarele pot fi alimentate cel puțin din două părți (fig. 20—7).

În funcție de modul cum sînt construite, rețelele electrice pot fi: *rețele aeriene* sau *rețele în cablu*.

În funcție de locul unde sînt construite, rețelele pot fi: *rețele interioare*, cînd sînt executate în cuprinsul clădirilor și *rețele exterioare*, cînd sînt executate în afara clădirilor.

---

[1] Tensiunile indicate cu litere cursive sînt utilizate în mod frecvent.

c. Construcția rețelelor

Rețelele aeriene sînt construite cu ajutorul conductoarelor montate pe stîlpi, prin intermediul izolatoarelor.

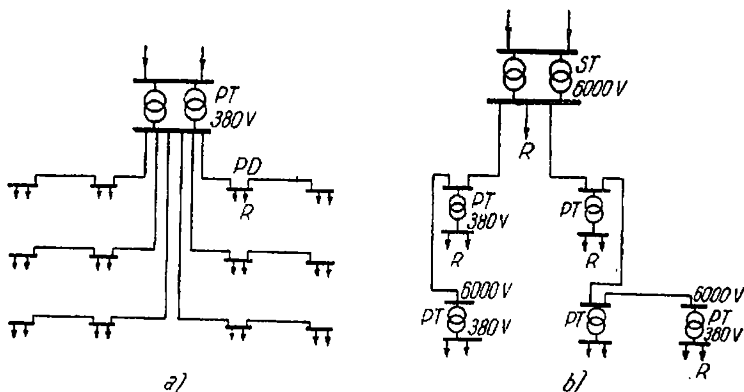


Fig. 20-6. Schema monofilară a unei rețele deschise:
a — distribuție centralizată; *b* — distribuție repartizată; *PT* — post de transformare; *ST* — stație de transformare; *R* — spre receptoare; *PD* — punct de distribuție (tablou de distribuție).

Conductoarele folosite sînt din cupru, aluminiu, oțel-aluminiu sau oțel, de obicei multifilare și neizolate. (În cuprinsul șantierelor, în anumite condiții, se utilizează și conductoare învelite, cu un înveliș rezistent la intemperii.)

Conductoarele se îmbină între ele cu ajutorul clemelor care pot fi:

— *cleme de legătură*, care asigură o legătură electrică, mecanică sau electrică și mecanică între două conductoare (de exemplu la liniile electrice aeriene);

— *cleme de derivație*, care dau posibilitatea legării unui conductor în derivație la alt conductor (STAS 1885-51).

Izolatoarele folosite la joasă tensiune și la înaltă tensiune, pînă la 35 kV inclusiv, sînt de tipul „izola-

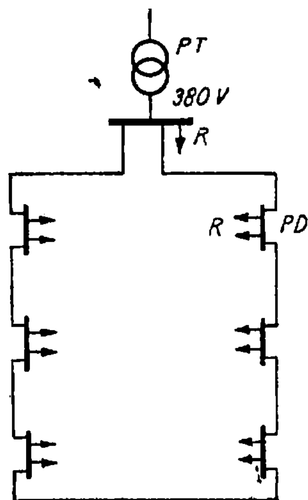


Fig. 20-7. Schema monofilară a unei rețele închise (buclate):
PT — post de transformare; *PD* — punct de distribuție (tablou de distribuție); *R* — spre receptoare.

toare suport" STAS 810-49 și STAS 665-49). Ele se fixează de stîlp prin intermediul unui suport metalic, prins chiar de stîlp, sau de o consolă fixată de stîlp. Conductorul se fixează de izolatorul suport legîndu-l cu un conductor metalic. Stîlpii servesc la susținerea conductoarelor. Ei sînt construiți din lemn, beton armat sau metal. Pentru a economisi materialul lemnos în patria noastră s-a dat o mare extindere utilizării stîlpilor de beton armat.

Rețelele în cablu sînt construite cu ajutorul cablurilor așezate în pămînt (fig. 20—8,*a*), în canale (fig. 20—8,*b*) sau pe pereți (fig. 20—8,*c*).

Cablurile utilizate sînt de obicei cabluri în manta de plumb, armate, cu izolație de hîrtie sau cu izolație de cauciuc.

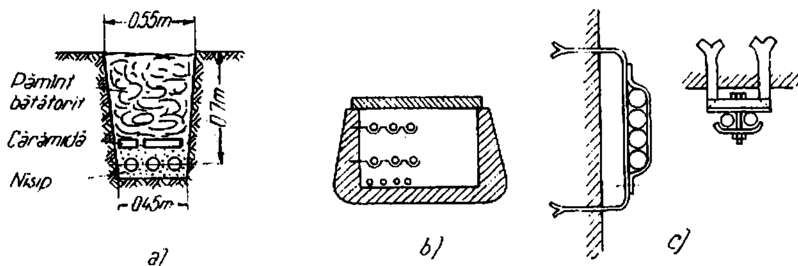


Fig. 20-8. Așezarea cablurilor:
a — în pămînt; *b* — în canale; *c* — pe pereți.

Îmbinarea cablurilor se face cu ajutorul manșoanelor de legătură sau de derivație (STAS 1570-50). La capete, cablurile sînt prevăzute cu cutii terminale de cablu STAS 1572-56; 1573-56; 3535-50; 2876-51. În cazul cablurilor cu izolație de hîrtie, pentru a împiedica scurgerea uleiului care îmbibă hîrtia, atît manșoanele, cît și cutiile terminale sînt umplute cu o masă izolantă. Masa izolantă se toarnă, fiind topită prin încălzire la locul de montaj. La montarea unui manșon, se controlează cu o grijă deosebită să se asigure o bună legătură electrică între mantalele de plumb și armăturile cablurilor care se leagă prin manșon, deoarece ele sînt folosite drept conductor de punere la pămînt.

La montare, cablurile nu trebuie să fie îndoite cu o rază de curbură mai mică decît circa 15 ori diametrul cablului, deoarece în caz contrar, izolația sa se poate deteriora (poate plezni).

Rețelele interioare se construiesc atît cu conductoare neizolate sau izolate, cît și cu cabluri. Conductoarele neizolate (bare ro-

tunde sau dreptunghiulare din cupru, aluminiu, oţel sau bare de oţel profilat) se montează aparent pe pereţi, fiind fixate pe izolatoare (de exemplu reţeaua care alimentează podul rulant).

Cablurile se montează pe pereţi sau în canale aşa cum s-a arătat mai sus.

Conductoarele izolate se pot monta aparent pe pereţi, fixîndu-se pe izolatoare rolă (STAS 1653-50); acest sistem nu se mai foloseşte. În mod frecvent, conductoarele izolate se montează cîte unu, două, trei sau patru, în tuburi de protecţie. Tuburile de protecţie folosite sînt de trei feluri:

— *tuburi izolante uşor protejate* (*IP*), numite şi tuburi Bergman (STAS 546-49). Aceste tuburi sînt construite din carton impregnat; tubul de carton este învelit într-o manta din tablă subţire de oţel plumbuit; ele se montează aparent pe tencuială sau îngropat sub tencuială în şanţuri săpate pe cît posibil între rosturile cărămizilor;

— *tuburi de protecţie P*, numite şi tuburi Peschel (STAS 547-49). Sînt construite din bandă de oţel, cu marginile petrecute una peste alta (pe generatoare); tuburile sînt lăcuite atît în interior, cît şi în exterior, cu lacuri de protecţie împotriva coroziunii. Aceste tuburi se montează numai aparent pe tencuială;

— *tuburi izolante de protecţie etanşe* (*IEP*), numite şi tuburi Panzer (STAS 548-49). Sînt construite din tablă de oţel sudată pe generatoarea tubului. În interiorul tubului de oţel se află un tub de carton impregnat; ele se folosesc la instalaţiile supuse solicitărilor mecanice în încăperi umede, cu abur, agenţi corosivi, cu pericol de explozie sau de incendiu. În practică, de multe ori, în locul tuburilor *IEP* sînt folosite ţevi de oţel fără sudură, STAS 441-49 (folosite la instalaţiile de gaze).

Pentru a simplifica montarea instalaţiilor electrice şi a le reduce preţul de cost, în încăperi uscate (birouri, locuinţe etc.) se utilizează conductoare speciale INTENC (în tecuială). Ele constau de fapt din două sau trei conductoare metalice, izolate fiecare în policlorură de vinil şi asamblate într-o manta de cauciuc sau de masă plastică comună, conductoarele fiind aşezate în acelaşi plan (ansamblul lor apare ca o panglică). Aceste conductoare se montează aparent sau în tencuială într-un şanţ săpat cu o daltă (fără să mai fie nevoie de un şanţ în cărămidă).

În cazul reţelelor interioare, îmbinarea şi legăturile de derivaţie ale conductoarelor se fac în piese speciale numite „doze", care se montează la locul de întîlnire a tuburilor de protecţie. Tot în doze (doze de aparat — STAS 552-53) se montează prizele, întreruptoarele şi comutatoarele aşezate îngropat sub tencuială.

Circuitele electrice principale prin care energia electrică este distribuită spre un grup de receptoare se numesc „coloane electrice" sau fideri, linii principale, derivații.

Fiderul alimentează un singur punct de distribuție sau receptor mare, izolat. L i n i a p r i n c i p a l ă alimentează pe parcurs mai multe puncte de distribuție. D e r i v a ț i i l e alimentează receptoarele de la un punct (tablou) de distribuție sau de la o linie principală. Locul în care energia electrică se distribuie spre diferitele receptoare sau grupuri de receptoare se numesc, așa cum s-a mai spus, „puncte de distribuție" sau „puncte de alimentare" (fig. 20—6, *a*); acestea se construiesc sub formă de tablouri electrice (tablouri secundare, tablouri principale, tablouri generale). Tablourile se construiesc din plăci de marmură (cînd sînt mai mici), din oțel sau cu ajutorul cutiilor de distribuție (fig. 12—45).

d. Calculul rețelelor electrice

Pentru a asigura respectarea condițiilor impuse unei rețele electrice (vezi punctul 20—4, *a*), alegerea conductoarelor acesteia (dimensionarea conductoarelor) se face pe baza următoarelor calcule: 1) calculul termic; 2) calculul electric; 3) calculul economic; 4) calculul mecanic.

Calculul termic al rețelelor sau calculul conductoarelor la încălzire constă în alegerea secțiunii conductoarelor astfel, încît curentul de durată (sarcina permanentă) care va trece prin conductor să nu depășească curentul maxim admisibil indicat de fabriaile constructoare pentru fiecare secțiune și tip de conductor în narte. Practic pot fi folosite tabelele 20—1 ... 20—5. Unele corme indică, pentru anumite secțiuni, curenți de durată mai mare; aceste valori sînt scrise în paranteză și sînt recomandate pentru întreprinderile care lucrează într-un singur schimb.

Dacă curentul depășește limitele indicate în tabele, încălzirea conductorului prin efectul Joule-Lenz produsă de trecerea curentului va depăși și ea limitele admise.

Aceste limite sînt 70°C pentru conductoarele neizolate instalate în interiorul clădirilor, de 55—65°C pentru conductoarele izolate și de 65°C la cablurile de 6 kV cu izolație de hîrtie.

Încălzirile peste limitele admise îmbătrînesc izolația înainte de vreme, sau o deteriorează producînd eventual scurtcircuite care pot duce chiar la incendii.

Tabela 20-1

Curentul de durată în *A* maxim admisibil pentru conductoare din cupru, aluminiu și oțel, neizolate, așezate în aer la temperatura de 25° C a mediului ambiant și curentul nominal, maxim admisibil, al fuzibilului în *A*, pentru conductoarele din cupru

Secțiunea nominală mm²	Curentul de durată A			Curentul nominal al fuzibilului A (pentru conductoare din cupru)		
				Instalații de forță		Instalații de iluminat
	Cupru	Aluminiu	Oțel	derivații la receptoare	linii principale	
4	45	—	—	80	35	25
6	60	—	—	100	60	35
10	85		—	160	80	60
16	110	105	—	300	160	100
25	140	135	—	430	200	160
35	175	170	75	500	260	200
50	220	215	90	600	300	225
70	280	265	125	850	430	300
95	340	325	140	—	500	350
120	405	370	175	—	600	430
150	480	440	—	—	700	500

Pentru conductoarele monofilare din oțel, curenții de durată admisibilă sînt:

Ø = 3,5 mm — 30 A; Ø = 4 mm — 35 A;
Ø = 5 mm — 40 A; Ø = 6 mm — 60 A.

Tabela 20-2

Curentul de durată, în A, maxim admisibil pentru conductoarele din cupru și aluminiu, izolate, așezate în tuburi de protecție, în aer, la temperatura de 25°C, și curentul nominal al fuzibilului în A

Secțiunea nominală, mm²	Curentul de durată, maxim admisibil A		Curentul nominal al fuzibilului, A					
			Instalații de forță				Instalații de lumină	
			derivații la receptoare		linii principale			
	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al
1	12	—	—	—	—	—	6	—
1,5	16	12	25	—	15	—	10	6
2,5	21	17	35	25	25	15	15	10
4	27	22	60	35	35	25	20	15
6	35	28	100	60	60	35	25	20
10	48	38	160	100	80	60	35	25
16	66	53	225	160	125	80	60	35
25	90	72	300	225	160	125	80	60
35	110	90	350	300	200	160	100	80
50	140	110	430	350	225	200	125	100
70	175	140	600	430	300	225	160	125
95	225	175	700	600	350	300	200	160
120	255	205	850	700	430	350	225	200
150	295	235	—	800	500	430	260	225

Tabela 20-3

Curentul de durată în A, maxim admisibil la cablurile în manta de plumb cu conductoare din cupru, cu izolație de cauciuc, pentru tensiuni pînă la 1 kV, instalate în aer, la o temperatură a mediului ambiant de + 25°C

Secțiunea nominală, mm²	Curentul de durată, A maxim admisibil în cabluri			Secțiunea nominală mm²	Curentul de durată, A maxim admisibil în cabluri		
	cu un conductor	cu două conductoare	cu trei conductoare		cu un conductor	cu două conductoare	cu trei conductoare
1,5	10(20)	10(17)	10(15)	35	150	120	120
2,5	15(27)	15(24)	15(22)	50	190	165	150
4	25(36)	25(34)	25(31)	70	240	200	185
6	35(46)	35(41)	35(37)	95	290	—	—
10	60(68)	60	55	120	340	—	—
16	90	75	70	150	390	—	—
25	125	100	90	185	450	—	—

Tabela 20-4

Curentul de durată în *A*, maxim admisibil la cablurile în manta de plumb, cu conductoare din cupru și izolație din hîrtie, instalate în aer la o temperatură de + 25°C a mediului ambiant

Secțiunea nominală, mm²	Curentul de durată, maxim admisibil, A					
	la cabluri de 1 kV				cablu de 3 kV cu trei conductoare	cablu de 6 kV cu trei conductoare
	cu un conductor	cu două conductoare	cu trei conductoare	cu patru conductoare		
1,5	15 (30)	15 (25)	15 (20)	—	15 (20)	—
2,5	25 (40)	25 (30)	25	25	25	—
4	40 (55)	40	35	35	35	—
6	60 (75)	55	45	45	45	—
10	95	75	60	60	60	55
16	120	95	80	80	80	65
25	160	130	105	100	105	90
35	200	150	125	120	125	110
50	245	185	155	150	155	145
70	305	225	200	185	200	175
95	360	275	245	215	245	215
120	415	320	285	260	285	250
150	470	370	330	300	330	290

Observație: temperatura maximă admisă a cablurilor este de 65°C pentru cablul de 6 kV și de 80°C pentru celelalte cabluri.

Tabela 20-5

Curentul de durată în *A*, maxim admisibil la cablurile în manta de plumb, cu conductoare din cupru și izolație din hîrtie, așezate în pămînt la temperatura de + 15°C

Secțiunea nominală, mm²	Curentul de durată maxim admisibil, A					
	cu un conductor	cu două conductoare	cu trei conductoare	cu patru conductoare	cablu 3 kV cu trei conductoare	cablu 6 kV cu trei conductoare
1,5	15 (45)	15 (35)	15 (30)	—	15 (30)	—
2,5	25 (60)	25 (45)	25 (40)	25 (35)	25 (40)	—
4	40 (80)	40 (60)	40 (55)	40 (50)	40 (55)	—
6	60 (105)	60 (80)	60 (70)	60	60 (7)	—
10	100 (140)	100 (105)	95	85	95	60
16	160 (175)	140	120	115	120	105
25	235	185	160	150	160	136
35	285	225	190	175	190	160
50	360	270	235	215	235	200
70	440	325	285	265	285	245
95	520	380	340	310	240	295
120	595	435	390	350	390	340
150	675	500	435	395	435	390

Observație: temperatura maximă admisă a cablurilor este de 65°C pentru cablul de 6 kV și de 80°C pentru celelalte cabluri.

Cînd conductoarele și cablurile lucrează în condiții diferite de cele specificate în tabele, curenții de durată maxim admisibilă se înmulțesc cu coeficienții de corecție arătați în tabelele 20—6, 20—7 și 20—8.

În cazul curenților mai mari, dar de scurtă durată, cum sînt curenții de pornire și curenții de scurtcircuit, încălzirile admise pentru conductoare sînt mai mari (de ordinul 150 ... 250°C). Pentru a evita apariția unor încălziri exagerate prin sarcini de scurtă durată, se recomandă ca densitatea de curent prin conductor să respecte relațiile de mai jos:

$$\begin{cases} \delta = \frac{I_p}{s} \leqslant 35\ \text{A/mm}^2 & \text{— la cabluri și conductoare din cupru cu izolație de cauciuc} \\ \delta = \frac{I_p}{s} \leqslant 45\ \text{A/mm}^2 & \text{— la cabluri și conductoare din cupru cu izolație de hîrtie} \\ \delta = \frac{I_{sc}}{s} \leqslant 90\ \text{A/mm}^2 & \end{cases} \tag{20.1}$$

în care: δ este densitatea de curent, în A/mm²;
I_p — curentul de pornire care trece prin conductor, în A;
I_{sc} — curentul de scurtcircuit (maxim) care trece prin conductor, în A;
s — secțiunea conductorului, în mm².

Calculul electric al rețelelor constă în a determina secțiunea conductoarelor unei linii electrice astfel încît căderea de tensiune produsă de trecerea curentului prin linie să nu depășească anumite limite date; invers, cînd se cunoaște secțiunea conductoarelor și curentul prin ele, trebuie să se verifice că valoarea căderii de tensiune este sub limitele admisibile.

Prin cădere de tensiune se înțelege diferența ΔU dintre tensiunea U_1 aplicată la începutul unei linii și tensiunea U_2 existentă la sfîrșitul ei (la receptor); căderea de tensiune se produce datorită trecerii curentului prin rezistența și reactanța conductoarelor liniei.

În cazul unei linii de curent continuu, cu o sarcină la capăt (fig. 20—9) se poate scrie:

$$U_1 - U_2 = \Delta U = 2RI, \tag{20.2}$$

în care:

R este rezistența electrică a unui conductor al liniei;
I — curentul prin conductoarele liniei.

Tabela 20-6

Coeficienţii de corecţie, funcţie de temperatura mediului înconjurător, pentru conductoarele şi cablurile aşezate în aer

Felul conductoarelor	Temperatura maximă admisibilă, în °C	Temperatura aerului °C								
		10	15	20	25	30	35	40	45	50
Conductoare neizolate	70	1,15	1,11	1,05	1,00	0,94	0,88	0,81	0,74	0,67
Conductoare şi cabluri cu izolaţie de cauciuc	55	—	—	—	1,00	0.91	0,82	0,71	0,58	0,41
Cabluri cu izolaţie de hîrtie......	80	1,13	1,09	1,04	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,73
	65	1,17	1,12	1,05	1,00	0,94	0,87	0,79	—	—

Tabela 20-7

Coeficienţii de corecţie în funcţie de temperatura solului, pentru cablurile îngropate în pămînt la o adîncime de 0,7—1 m

Temperatura maximă admisă a cablului, în ° C	Temperatura în pămînt °C							
	+ 5	+ 10	+ 15	+ 20	25	30	+ 35	+ 40
80	1,08	1,04	1,00	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78
65	1,10	1,05	1,00	0,95	0,89	0,84	0,77	0,71

Tabela 20-8

Coeficienţii de corecţie, funcţie de numărul cablurilor în funcţiune, aşezate alături în pămînt

Numărul de cabluri în acelaşi şanţ	1	2	3	4		6
Coeficienţii de corecţie, cînd distanţa dintre cabluri este:						
10 cm	1,00	0,90	0,85	0,80	0,78	0,75
20 cm	1,00	0,92	0,87	0,84	0,82	0,81
30 cm	1,00	0,93	0,90	0,87	0,86	0,85

La aşezarea cablurilor în canale, curentul admisibil se reduce la 65%.

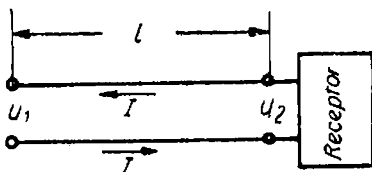
Rezistența R a unui conductor, în funcție de rezistivitatea ρ a materialului, de lungimea l și de secțiunea lui s este dată de relația:

$$R = \rho \frac{l}{s}. \tag{20.3}$$

Din relațiile (20.2) și (20.3) se deduce:

$$s = \rho \frac{2l}{\Delta U} I. \tag{20.4}$$

Cu relația (20.4) se calculează secțiunea s a conductorului dintr-un material cu rezistivitatea ρ și de lungime l, astfel ca la trecerea curentului I, căderea de tensiune pe linie să fie ΔU.



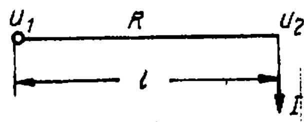


Fig. 20-9. Alimentarea unui receptor, în curent continuu sau alternativ monofazat:
a — schema multifilară; b — schema monofilară.

Exprimînd căderea de tensiune în procente față de tensiunea nominală:

$$\Delta U\% = \frac{\Delta U}{U_n} \cdot 100, \tag{20.5}$$

relația (20.4) devine:

$$s = \rho \frac{200\, lI}{\Delta U\,\%\, U_n}. \tag{20.6}$$

Dacă se ține seama și de expresia puterii absorbite P de către receptorul prin care trece curentul I, la tensiunea nominală U_n:

$$P = U_n I, \tag{20.7}$$

din relația (20.6) și (20.7) se deduce:

$$s = \rho \frac{200\, l}{\Delta U\,\% U_n^2} P. \tag{20.8}$$

În curent alternativ, pe lîngă rezistența liniei, căderile de tensiune sînt produse și de reactanța ei. Se notează cu R, X și Z rezistența, reactanța și impedanța pe o fază a unei linii trifazate, cu I curentul pe linie, cu U_1 tensiunea pe fază la începutul liniei și cu U_2 tensiunea pe fază la sfîrșitul ei (fig. 20—10). La receptor, curentul I este defazat cu unghiul φ în urma tensiunii U_2 (segmentul OA — fig. 20—10, c); trecînd prin rezistența liniei, curentul produce o cădere de tensiune RI (segmentul AB) în fază cu curentul I; trecînd prin reactanța liniei, curentul I produce o cădere de tensiune XI (segmentul BC) defazată cu 90° înaintea lui.

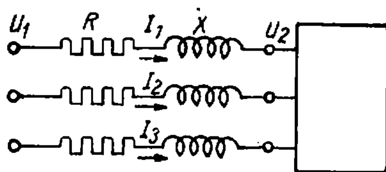
Însumînd (vectorial) tensiunea U_2 cu căderile de tensiune RI şi XI, se obţine tensiunea U_1 (segmentul OC); se construieşte un arc de cerc cu centrul în O şi rază OC, care intersectează dreapta OA în C'. Diferenţa algebrică dintre tensiunea U_1 şi tensiunea U_2 este dată de segmentul AC', care reprezintă căderea de tensiune în linie, pe fază, ΔU_f.

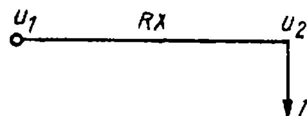
Pentru a simplifica formulele de calcul, în locul segmentului AC' se consideră drept cădere de tensiune segmentul AC'', C'' fiind piciorul perpendicularei din C pe OA. Această aproximaţie nu introduce erori mari, deoarece în cazul diagramelor corespunzătoare cazurilor reale, unghiul γ dintre tensiunile U_1 şi U_2 este foarte mic, iar C' şi C'' sînt foarte apropiate. În acest caz, notînd cu b piciorul perpendicularei din B pe OA, se poate scrie:

$$\Delta U_f = AC'' = Ab + bC'' = RI\cos\varphi + XI\sin\varphi \quad (20.9)$$

Relaţia 20.9 permite să se calculeze căderea de tensiune pe fază la un sistem trifazat echilibrat (sau la care curentul prin firul neutru este practic zero). După cum tensiunea de linie este de $\sqrt{3}$ ori mai mare decît tensiunea de fază, şi căderea de tensiune între faze ΔU_L (căderea de tensiune a tensiunii de linie) este de $\sqrt{3}$ ori mai mare decît cea din relaţia 20.9, deci are expresia:

$$\Delta U_L = \sqrt{3}\,\Delta U_f = \sqrt{3}I(R\cos\varphi + X\sin\varphi). \quad (20.10)$$





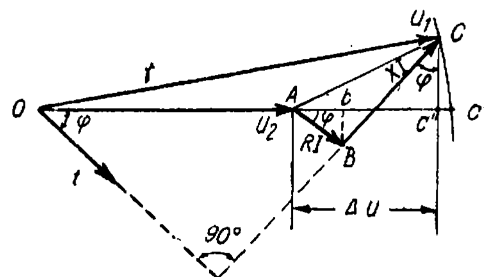


Fig. 20-10. Alimentarea unui receptor în curent alternativ trifazat:

a — schema multifilară; *b* — schema monofilară; *c* — diagrama vectorială a tensiunilor şi căderilor de tensiune pe o fază.

Înmulţind şi împărţind relaţia (20.10) cu tensiunea de linie U_L şi ţinînd seama de expresia puterii active P (relaţia 8.7) şi a puterii reactive Q (relaţia 8.8) se poate scrie:

$$\Delta U_L = \frac{PR + QX}{UL}. \qquad (20.11)$$

În relaţiile (20.9), (20.10) şi (20.11), notaţiile au următoarele semnificaţii:

U_L este căderea de tensiune între faze, în V;
U_f — căderea de tensiune pe fază, în V;
P — puterea activă a receptorului, în W;
Q — puterea reactivă a receptorului, în var;
U_L — tensiunea de linie, în V;
I — curentul de linie, în A;
R — rezistenţa pe fază a liniei, în Ω;
X — reactanţa pe fază a liniei, în Ω.

În curent alternativ, datorită reactanţei care depinde de secţiunea conductoarelor şi de distanţa dintre ele, calculul secţiunii conductoarelor este o problemă complicată. De aceea, în curent alternativ este, în general, mai comod să se verifice căderea de tensiune cunoscînd caracteristicile liniei.

La reţelele în cablu, la care reactanţa este mică în comparaţie cu rezistenţa şi deci se poate neglija, relaţia (20.9) se poate scrie:

$$\Delta U_f = RI \cos \varphi = \rho \frac{l}{} I \cos \varphi;$$

de unde rezultă:

$$s = \rho \frac{l}{\Delta U_f} I \cos \varphi, \qquad (20.12)$$

sau, în mod analog, pornind de la relaţia 20.10, se obţine:

$$s = \sqrt{3}\, \rho \frac{l}{\Delta U_L} I \cos \varphi. \qquad (20.13)$$

În cazul reţelelor de curent alternativ monofazat, cînd se produc căderi de tensiune pe ambele conductoare, căderea de tensiune se calculează folosind relaţia:

$$\Delta U = 2I(R \cos \varphi + X \sin \varphi). \qquad (20.14)$$

Pe baza unor demonstraţii asemănătoare celor de mai sus, se pot obţine şi relaţiile pentru determinarea secţiunii conductoarelor în cazul cînd pe linie sînt mai multe receptoare. Cazurile uzuale şi relaţiile folosite, neglijînd reactanţa, se găsesc în tabela 20.9.

Tabela 20–9

Formule pentru calculul secțiunii conductoarelor pe baza căderilor de tensiune și invers

Schema monofilară a rețelei	Felul curentului	Formule de calcul	
		Pentru secțiune	Pentru căderea de tensiune
	continuu	$s = 2\rho \frac{lI}{\Delta U} = 2\rho \frac{P}{\Delta U \cdot U_n}$ $s = 200\rho \frac{lI}{\Delta U \% U_n} = 200\rho \frac{lP}{\Delta U \% U_n^2}$	$\Delta U = 2\rho \frac{lI}{s} = 2\rho \frac{lP}{sU_n}$ $\Delta U \% = 200\rho \frac{lI}{s \cdot U_n} = 200\rho \frac{lP}{s \cdot U_n^2}$
l, T ($\cos\varphi$)	alternativ monofazat (neglijînd reactanța)	$s = 2\rho \frac{lI\cos\varphi}{\Delta U} = 2\rho \frac{Pl}{\Delta U \cdot U_n}$ $s = 200\rho \frac{lI\cos\varphi}{\Delta U \% U_n} = 200\rho \frac{lP}{\Delta U \% U_n^2}$	$\Delta U = 2\rho \frac{lI\cos\varphi}{s} = 2\rho \frac{lP}{s \cdot U_n}$ $U \% = 200\rho \frac{lI\cos\varphi}{s \cdot U_n} = 200\rho \frac{lP}{s \cdot U_n^2}$
	alternativ trifazat (neglijînd reactanța)	$s = \sqrt{3}\rho \frac{lI\cos\varphi}{\Delta U_L} = \rho \frac{lP}{\Delta U_L \cdot U_n}$ $s = 100\sqrt{3}\rho \frac{lI\cos\varphi}{\Delta U \% U_n} =$ $= 100\rho \frac{lP}{\Delta U_0/^0U_n^2}$	$\Delta U_L = \sqrt{3}\rho \frac{lI\cos\varphi}{s} = \rho \frac{lP}{s \cdot U_n}$ $\Delta U \% = 100\sqrt{3}\rho \frac{lI\cos\varphi}{s \cdot U_n} =$ $= 100\rho \frac{lP}{s \cdot U_n^2}$

Tabela 20—9 (urmare)

Schema monofilară a rețelei	Felul curentului	Formule de calcul	
		Pentru secțiune	Pentru cădere de tensiune
	continuu	$s = 2\rho\frac{\Sigma LI}{\Delta U} = 2\rho\frac{\Sigma LP}{\Delta U \cdot U_n}$ $s = 200\rho\frac{\Sigma LI}{\Delta U\% U_n} = 200\rho\frac{\Sigma LP}{\Delta U\% U_n^2}$	$\Delta U = 2\rho\frac{\Sigma LI}{s} = 2\rho\frac{\Sigma LP}{s \cdot U_n}$ $\Delta U\% = 200\rho\frac{\Sigma LI}{s \cdot U_n} = 200\rho\frac{\Sigma LP}{s \cdot U_n^2}$
	alternativ monofazat (neglijînd reactanța)	$s = 2\rho\frac{\Sigma IL\cos\varphi}{\Delta U} = 2\varphi\frac{\Sigma LP}{\Delta U \cdot U_n}$ $s = 200\rho\frac{\Sigma I\cos\varphi}{\Delta U\% \cdot U_n} = 200\rho\frac{\Sigma LP}{\Delta U\% U_n^2}$	$\Delta U = 2\rho\frac{\Sigma LI\cos\varphi}{s} = 2\rho\frac{\Sigma LP}{s \cdot U_n}$ $\Delta U\% = 200\rho\frac{\Sigma LI\cos\varphi}{s \cdot U_n} = 200\rho\frac{\Sigma LP}{s \cdot U_n^2}$
	alternativ trifazat (neglijînd reactanța)	$s = \sqrt{3}\rho\frac{\Sigma LI\cos\varphi}{\Delta U_L} = \rho\frac{\Sigma LP}{\Delta U_L \cdot U_n}$ $s = 100\sqrt{3}\rho\frac{\Sigma LI\cos\varphi}{\Delta U\% \cdot U_n} = 100\rho\frac{\Sigma LP}{\Delta U\% \cdot U_n^2}$	$\Delta U_L = \sqrt{3}\rho\frac{\Sigma LI\cos\varphi}{s} = \rho\frac{\Sigma LP}{s \cdot U_n}$ $\Delta U\% = 100\sqrt{3}\rho\frac{\Sigma LI\cos\varphi}{s \cdot U_n} = 100\rho\frac{\Sigma LP}{s \cdot U_n^2}$

În relațiile de mai sus:

s este secțiunea, în mm²;

ρ = rezistivitatea în $\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$ $\left[\text{pentru cupru } \rho\left(\frac{1}{55} \cdot \cdot \frac{1}{57}\right) = \frac{\Omega\, mm^2}{m}\right]$ $\left[\text{pentru aluminiu} = \left(\frac{1}{29} \cdot \cdot \frac{1}{35}\right) = \frac{\Omega\, mm^2}{m}\right]$

l și L — lungimi, în m;
I — curentul cerut de receptor din rețea, în A;
P — puterea absorbită de receptor din rețea, în W;
U_n — tensiunea rețelei, în V;
ΔU — căderea de tensiune, în V;
$\Delta U\%$ — căderea de tensiune, în procente;
$\cos\varphi$ — factorul de putere al receptorului.

Căderea de tensiune admisă în mod practic pe linie este de cel mult 5—7% din tensiunea nominală, în cazul rețelelor de forță și de 3%, în cazul rețelelor de lumină.

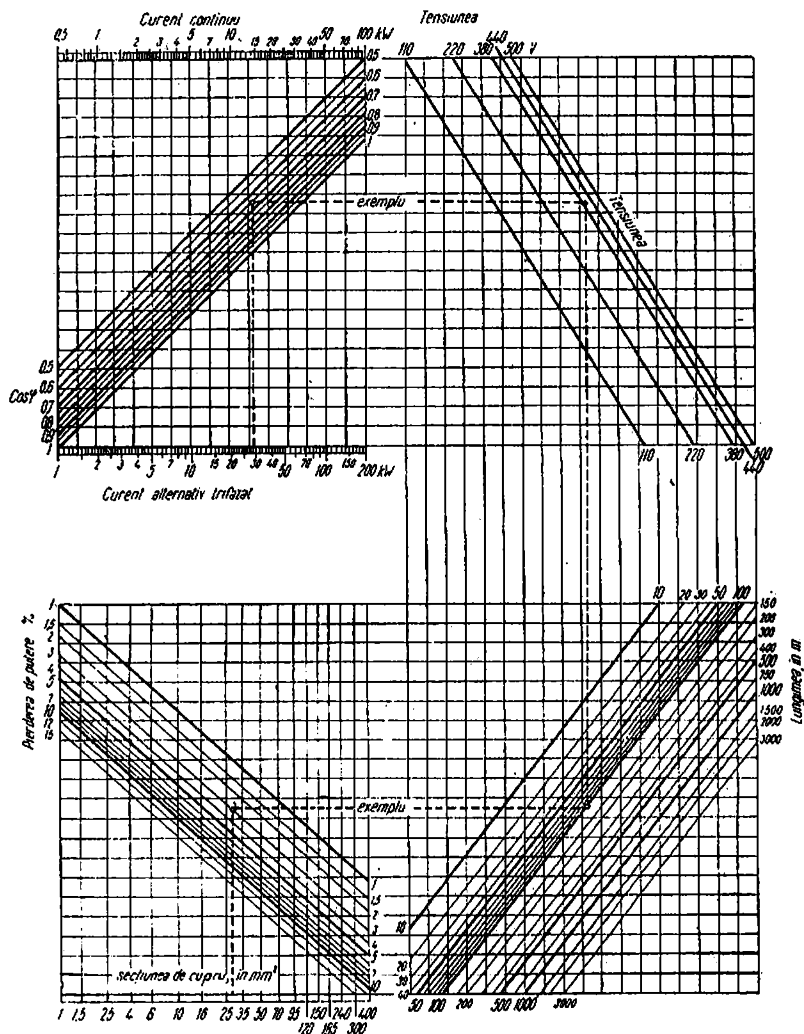


Fig. 20-11. Nomograme pentru stabilirea secțiunii conductoarelor din cupru ale unei linii trifazate, cu sarcina la un capăt.

De obicei, în practică, se stabilesc mai întîi secțiunile conductoarelor pe baza curenților normali de funcționare (se face mai întîi calculul termic) și apoi se stabilește prin calcul că valoarea căderii de tensiune pentru cel mai îndepărtat receptor nu depășește limitele admise; în caz contrar, se mărește secțiunea conductoarelor și se face o nouă verificare a căderii de tensiune. Cînd secțiunile cablurilor ies mai mari decît circa 150 mm², se obișnuiește să se monteze în paralel mai multe cabluri de secțiune mai mică.

Cunoscînd puterea, factorul de putere, tensiunea, lungimea unei linii și pierderile admisibile, determinarea secțiunii necesare unui conductor din cupru, într-o linie trifazată cu un singur receptor la capăt, se poate face în mod expeditiv folosind nomogramele din figura 20—11.

Pentru conductoarele de aluminiu, secțiunea obținută din nomogramă se înmulțește cu 1,6.

La liniile aeriene, pentru a ține seama și de reactanță, valorile s și ΔU, obținute cu ajutorul formulelor arătate în tabela 20—9, se înmulțesc cu coeficienții din tabela 20—10.

Tabela 20–10

Coeficienții care înmulțesc valorile s și ΔU din tabela 20–9, pentru a ține seama de reactanța liniilor aeriene

Secțiunea nominală, în mm²	Pentru distanța dintre conductoarele liniei de											
	40 cm cos φ =				50 cm cos φ =				60 cm cos φ =			
	0,9	0,8	0,7	0,6	0,9	0,8	0,7	0,6	0,9	0,8	0,7	0,6
10	1,1	1,15	1,2	1,27	1,1	1,16	1,21	1,28	1,1	1,16	1,22	1,29
16	1,15	1,23	1,31	1,41	1,15	1,24	1,32	1,43	1,16	1,25	1,34	1,44
25	1,22	1,34	1,47	1,61	1,23	1,36	1,49	1,63	1,24	1,37	1,5	1,65
35	1,3	1,47	1,63	1,83	1,31	1,48	1,66	1,86	1,32	1,5	1,68	1,89
50	1,41	1,64	1,87	2,14	1,43	1,67	1,91	2,19	1,45	1,7	1,94	2,24
70	1,56	1,86	2,17	2,54	1,59	1,9	2,23	2,62	1,61	1,84	1,28	2,68
95	1,73	2,13	2,54	3,02	1,77	2,19	2,61	3,12	1,8	2,24	2,69	3,2

Calculul economic al rețelelor constă în a stabili că pierderile de putere în linie nu depășesc anumite limite (5—10% din puterea care trece prin linie); de asemenea, rețeaua trebuie astfel dimen-

sionată, încît consumul de conductoare (din metale neferoase) să fie minim.

Calculul mecanic al rețelelor se face în special la liniile aeriene și are drept scop să verifice că atît conductoarele, cît și stîlpii nu vor fi solicitați, mecanic, peste limitele admise, chiar în cele

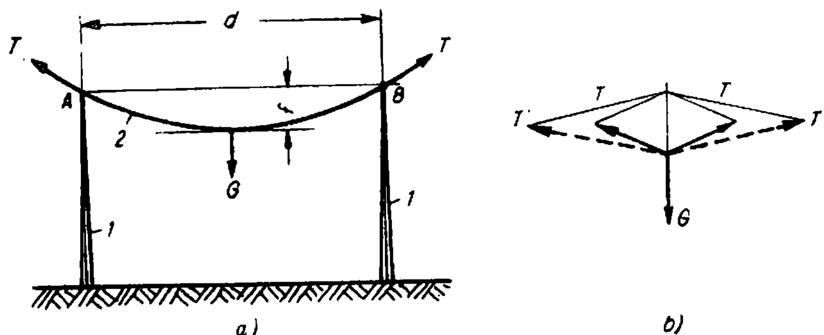


Fig. 20-12. *a* — Conductor întins între doi stîlpi; *b* — diagrama vectorială a forțelor care apar în conductor la punctele de suspensie:
1 — stîlpi; *2* — conductor; *d* — deschidere; *f* — săgeată; *G* — greutatea proprie; *T* — tensiunea în conductor în punctele de suspensie.

mai grele condiții de funcționare posibile. Astfel, un conductor trebuie să suporte, în afară de greutatea sa proprie, greutatea poleiului sau a chiciurii, care se poate depune iarna pe conductor și forțele produse de presiunea vîntului. Conductorul întins între doi stîlpi nu poate sta după o linie dreaptă, ci ia forma unei curbe numite „lănțișor" (fig. 20—12, *a*). Distanța dintre doi stîlpi se numește deschidere *d*, iar distanța de la punctul cel mai de jos al conductorului la linia care unește punctele sale de suspensie se numește săgeată *f*. Cu cît săgeata este mai mică, cu atît sînt mai mari eforturile de întindere *T* care apar în conductor la punctele de suspensie *A* și *B*, sub influența greutății proprii *G* a poleiului și a vîntului (fig. 20—12, *b*). Iarna, la frig, conductorul contractîndu-se, săgeata scade și eforturile în conductor cresc. De aceea, la instalarea conductorului trebuie lăsată o anumită săgeată care depinde de temperatura exterioară, astfel încît iarna, la frig, cu polei sau cu vînt, tensiunea (kg/mm^2) care ia naștere în conductor să nu depășească valoarea maximă admisă.

De asemenea, tot pentru considerente de rezistență mecanică, la construcția liniilor aeriene nu se folosesc conductoare cu secțiuni mai mici decît 10 mm^2 la cupru și la oțel și decît 16 mm^2

la aluminiu; la treceri ale liniei peste locuri cu circulație intensă sau locuite, secțiunile minime admisibile se măresc la 16 mm², respectiv, 25 mm² (prin aceasta se evită accidentele provocate de ruperea conductoarelor și de căderea lor pe pămînt).

5. Imbunătățirea factorului de putere

Se știe că în curent alternativ, un receptor absoarbe din rețea o putere aparentă $S = \sqrt{3}\,UI$, din care numai o anumită parte este putere activă $P = \sqrt{3}\,UI \cos\varphi = \sqrt{3}\,UI_a$ (Cap. VII și VIII).

Raportul:

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} \tag{20.15}$$

se numește factor de putere, în care, după cum se cunoaște, φ este unghiul de defazaj dintre curentul absorbit din rețea și tensiunea de alimentare a rețelei (fig. 20—13). Cu alte cuvinte, factorul de putere arată ce cantitate din puterea aparentă reprezintă puterea activă.

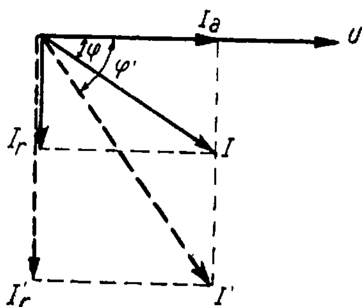


Fig. 20-13. Diagrama vectorială a curenților printr-un receptor inductiv față de tensiunea aplicată la borne:
U — tensiunea aplicată la borne; $I_a = I\cos\varphi$ — curentul activ; I_r — $I\sin\varphi$ — curentul reactiv; I — curentul total; φ — defazajul între curentul total și tensiunea aplicată la borne.

Neegalitatea puterilor aparente și active se datorează faptului că în afară de curentul activ, I_a în fază cu tensiunea, receptorul mai absoarbe un curent reactiv, defazat cu 90° în urma tensiunii (la receptoarele inductive), necesar magnetizării circuitelor magnetice ale receptorului. Corespunzător, receptorul absoarbe o putere reactivă $Q = \sqrt{3}\,UI\sin\varphi = \sqrt{3}\,UI_r$. Între aceste puteri se cunoaște relația:

$$S^2 = P^2 + Q^2.$$

Din cele de mai sus rezultă că pentru aceeași putere activă, deci același curent activ, receptorul va absorbi din rețea o putere aparentă cu atît mai mare, cu cît factorul de putere va fi mai redus, ceea ce se traduce pe circuit printr-un curent total I' mai mare (fig. 20—13).

Un factor de putere scăzut duce la următoarele neajunsuri:

Mărirea puterii instalate la transformatoare și la generatoarele sistemului. De exemplu, dacă o întreprindere oarecare absoarbe

o putere activă de 80 kW la un factor de putere $\cos\varphi = 0{,}5$, puterea instalată la transformator va trebui să fie:

$$S = \frac{P}{\cos\varphi} = \frac{80}{0{,}5} = 160 \text{ kVA}.$$

Dacă factorul de putere ar fi fost $\cos\varphi = 0{,}8$, puterea transformatorului putea fi:

$$S = \frac{P}{\cos\varphi} = \frac{80}{0{,}8} = 100 \text{ kVA}.$$

Mărirea secțiunii conductoarelor pentru ca pierderile de tensiune și pierderile de energie provocate de curentul total să nu depășească limitele admise.

Mărirea factorului de putere sau, cum se spune, îmbunătățirea factorului de putere pentru o instalație dată va duce la micșorarea curentului total absorbit și, prin aceasta, la posibilitatea de a conecta noi receptoare la aceeași rețea.

În cazul unei instalații noi proiectate, luînd toate măsurile ca factorul de putere să fie cît mai mare, instalația proiectată va fi mai economică (secțiunea conductoarelor mai mică, puterea postului de transformare mai mică).

În prezent, la noi în țară, baza de dezvoltare a tuturor întreprinderilor fiind electrificarea lor, puterile cerute de acestea de la sistemele energetice sînt din ce în ce mai mari. În consecință, problema factorului de putere capătă o importanță națională și trebuie să i se dea toată atenția. Întreprinderile care funcționează cu un factor de putere scăzut sînt penalizate conform tabelei (20—11), ceea ce are drept consecință mărirea prețului de cost al producției respective.

Tabela 20–11

Penalizările și bonificările (reducerea sumei de plată) în procente din suma de plată a energiei electrice, în funcție de factorul de putere al întreprinderii

Factorul de putere mediu lunar ($\cos\varphi$)	penalizare (+) bonificare (—) în %	$\cos\varphi$	penalizare (+) bonificare (—) în %	$\cos\varphi$	penalizare (+) bonificare (—) în %
1,00	— 15	0,75	0	0,5	+ 60
0,95	— 12,5	0,70	+ 5	0,45	+ 80
0,90	— 10	0,65	+ 20	0,4	+ 85
0,85	— 7,5	0,60	+ 35	0,35	+ 110
0,80	— 5	0,55	+ 50	0,3	+ 125

Determinarea factorului de putere al unei întreprinderi se realizează cu ajutorul indicațiilor contoarelor de energie activă și energie reactivă care sînt montate de obicei la orice întreprindere.

Notînd cu W_a indicația contorului de energie activă, pe timp de o lună (de exemplu) și cu W_r — indicația contorului de energie reactivă în același interval de timp, factorul de putere mediu pe intervalul de timp respectiv este dat de relația:

$$\cos \varphi = \frac{W_a}{\sqrt{W_a^2 + W_r^2}}. \tag{20.16}$$

Procedee pentru îmbunătățirea factorului de putere. Îmbunătățirea factorului de putere se poate face pe două căi:

— prin măsuri organizatorice, cu ajutorul cărora factorul de putere este mărit fără nici un fel de investiții;

— prin producerea puterii reactive la fața locului.

Principalele măsuri organizatorice sînt:

— utilizarea rațională a electromotoarelor, astfel încît să fie încărcate, pe cît posibil, la puterea lor nominală. În adevăr, puterea reactivă absorbită de un motor asincron depinde puțin de sarcină. De aceea, cu cît un motor asincron merge cu o sarcină mai mică, cu atît factorul său de putere va fi mai redus;

— reducerea tensiunii aplicate fazelor motorului, prin schimbarea conexiunii din triunghi în stea. Aceasta se admite numai la motoarele la care încărcarea nu depășește 0,4... 0,5 din puterea nominală și se poate aplica numai la motoarele la care pornirea se face cu comutator stea-triunghi. Trebuie amintit însă că, trecînd la conexiunea stea, cuplul de pornire și cuplul maxim al motorului scade de trei ori. În instalațiile electrice moderne, la care sarcina motorului variază în decursul timpului, se utilizează comutatoarele stea-triunghi automate, care la scăderea sarcinii motorului schimbă conexiunile pe stea, iar la creșterea sarcinii, revin pe conexiunea triunghi în mod automat, în funcție de curentul care trece prin motor;

— evitarea mersului în gol al motoarelor asincrone și al transformatoarelor de sudură în special, prin deconectarea lor de la rețea, atunci cînd nu au sarcină;

— utilizarea, atunci cînd este posibil, a motoarelor sincrone. Motoarele sincrone pot funcționa cu factor de putere $\cos \varphi = 1$ și, în plus, pot produce energie reactivă, pe care o dau rețelei;

— sincronizarea motoarelor asincrone mari.

Producerea puterii reactive chiar la întreprindere se realizează cu ajutorul mașinilor de curent alternativ sincrone sau cu ajutorul condensatoarelor statice;

ele absorb din rețea o putere reactivă capacitivă, care compensează puterea reactivă inductivă, necesară magnetizării circuitelor magnetice, ceea ce înseamnă, cu alte cuvinte, că aceste receptoare produc putere reactivă inductivă.

Mașinile sincrone folosite sînt motoarele sincrone obișnuite sau generatoarele sincrone special construite pentru producerea puterii reactive, numite compensatoare sincrone.

Pentru îmbunătățirea factorului de putere se folosesc și condensatoare statice sub formă de baterii.

Utilizarea lor este uneori avantajoasă, deoarece condensatoarele funcționează cu pierderi mici și fără zgomot, au greutate mică, nu au piese în mișcare și se instalează destul de simplu.

Capacitatea C a unei baterii de condensatoare legate în triunghi, pentru a compensa o putere reactivă Q, absorbită de un grup de receptoare la tensiunea U, se determină cu ajutorul relației:

$$C = \frac{Q}{3\,U^2\omega}, \qquad (20.17)$$

în care: C — capacitatea unei faze a bateriei, în F;

U — tensiunea de linie a rețelei, în V;

Q — puterea reactivă de compensat, în var;

$\omega = 2\pi f = 2\pi\,50 = 314$ — pulsația curentului alternativ industrial de 50 Hz.

Puterea reactivă de compensat Q se poate lua egală cu puterea medie corespunzătoare energiei reactive înregistrate de contoarele de energie reactivă pe un anumit interval de timp, pentru grupul de receptoare considerat.

Compensarea puterii reactive se face în următoarele feluri:

— *individual*, instalînd condensatoarele lîngă fiecare receptor în parte;

— *pe grupe*, instalînd bateria la plecarea cablurilor unui grup de receptoare mai importante;

— *centralizat*, instalînd bateria de condensatoare în cuprinsul stației de transformare principală a întreprinderii. Acest ultim procedeu descarcă de puterea reactivă numai sistemul energetic care alimentează exploatarea. Primul și al doilea procedeu permit reducerea puterii transformatoarelor și a secțiunii cablurilor chiar în cadrul exploatării, însă complică instalațiile acesteia.

Calculele tehnice economice arată că este rațional ca factorul de putere să fie îmbunătățit pînă la 0,9...0,95.

Capitolul XXI

Protecția instalațiilor electrice

1. Cazurile anormale în care trebuie să intervină dispozitivele de protecție

În instalațiile electrice apar uneori defecte sau regimuri anormale de funcționare care ar putea pune în pericol fie instalația respectivă, fie viața personalului de deservire, fie mediul înconjurător; acestea ar putea provoca distrugerea unor piese electrice și prin aceasta întreruperea funcționării instalației și deci oprirea procesului de lucru (stagnări, rebuturi), ar putea provoca accidente mortale, explozii ale mediului înconjurător sau incendii.

În toate aceste cazuri trebuie să intervină dispozitivele de protecție care, la ivirea unui regim anormal, să comande izolarea părții defecte prin deconectarea ei (în cazul unei stări imediat periculoase) sau numai să semnalizeze apariția regimului anormal (în cazul unei situații care nu este imediat periculoasă). De exemplu, în cazul apariției unui scurtcircuit, deconectarea părții unde s-a produs defectul trebuie făcută imediat, deoarece în caz contrar, consecințele pot fi foarte grave (distrugerea instalației respective). În cazul unei puneri la pămînt a unei faze într-o rețea cu neutrul izolat, funcționarea rețelei poate continua, deoarece pericolul grav apare numai la o a doua punere la pămînt pe altă fază (scurtcircuit bifazat); în acest caz, este suficientă numai o semnalizare, deoarece deconectarea instalației ar provoca în mod inutil oprirea procesului de lucru.

Regimurile anormale care pot apărea în funcționarea unei instalații electrice sînt:

— suprasarcinile;
— supratensiunile;
— dispariția tensiunii sau scăderea ei sub anumite limite;
— apariția tensiunii pe piese care în mod normal nu sînt sub tensiune;

— punerea la pămînt a unei faze;
— producerea de scîntei în medii explozive.

a) *Suprasarcini* (supraintensități sau supracurenți) se numesc depășirile curentului unei instalații sau al unui receptor oarecare peste curentul nominal respectiv. Suprasarcinile se exprimă în general în procente sau în multipli față de curentul nominal al receptorului. Suprasarcinile sînt de două feluri:

Suprasarcină de lungă durată sau pe scurt *suprasarcină* cînd curentul I capătă, în general, valori care nu sînt cu mult prea mari peste curentul nominal $I_n (2I_n > I > I_n)$ și de aceea acest curent poate fi admis, prin instalație, o durată oarecare de timp (cu atît mai mică cu cît suprasarcina este mai mare).

Suprasarcinile se produc, de exemplu, prin încărcarea unui motor cu o putere mai mare decît puterea lui nominală.

În cazul motoarelor trifazate, curentul prin motor poate depăși curentul nominal chiar dacă puterea cerută de la el rămîne cea nominală, însă se întrerupe una din faze (de cele mai multe ori prin topirea unei siguranțe fuzibile necorespunzătoare [1]). Aceasta este cauza arderii în practică a celor mai multe motoare asincrone care merg cu putere constantă, cum sînt motoarele pompelor, ventilatoarelor etc.

Suprasarcina este periculoasă deoarece, după un timp oarecare, încălzirea instalației depășește limitele admise. Contra suprasarcinilor se face o protecție maximală de curent cu acțiune temporizată, folosind relee maximale de curent temporizate, relee termice sau chiar siguranțe fuzibile. Timpul de acționare a protecției trebuie să fie cu atît mai mic cu cît suprasarcina este mai mare. În același timp, temporizarea acestei protecții evită ca ea să acționeze la șocurile de curent care apar în mod normal în funcționare, cum ar fi, de exemplu, șocurile de curent produse la pornirea motoarelor, care, avînd o durată scurtă, nu sînt periculoase.

Suprasarcină de scurtă durată, cînd curentul depășește cu mult valoarea nominală; el trebuie întrerupt cît mai repede. Acesta este cazul scurtcircuitelor ($I > 7...8\ I_n$) și de aceea aceste suprasarcini se mai numesc și *scurtcircuite*.

---

[1] Neglijînd randamentul motorului și considerînd că factorul de putere rămîne neschimbat se poate scrie:

$P_n = \sqrt{3}\ U_n \cdot I_n \cdot \cos \varphi_n$ — cînd motorul este conectat trifazat;

$P_n = U_n \cdot I' \cdot \cos \varphi_n$ — cînd motorul este conectat numai la două faze.

Se observă că în acest caz curentul I' este cu circa de $\sqrt{3}$ ori mai mare decît curentul nominal al motorului.

Scurtcircuitele sînt periculoase prin forțele electrodinamice[1] și încălzirile mari pe care le produc în instalație dacă nu sînt întrerupte la timp. Sub acțiunea forțelor electrodinamice, diferitele elemente ale unei instalații (izolatoare, bare etc.) pot fi distruse.

Contra scurtcircuitelor se face o protecție maximală de curent în general cu acțiune instantanee, folosind relee maximale de curent sau siguranțe fuzibile.

b) *Supratensiuni* se numesc depășirile tensiunii peste valoarea tensiunii nominale. Supratensiunile sînt de două feluri:

supratensiuni de origine internă care apar fie ca urmare a unor fenomene de rezonanță în rețea, fie ca urmare a conectărilor greșite sau a defectelor de izolație, cînd o tensiune mai mare pătrunde într-o instalație cu tensiune mai mică;

supratensiuni de origine externă care sînt supratensiuni produse de electricitatea atmosferică. Acestea sînt foarte periculoase, în special pentru instalațiile de joasă tensiune.

Contra supratensiunilor, îndeosebi de origine externă, se face o protecție specială, maximală de tensiune, folosind eclatoare și descărcătoare. Supratensiunile de origine internă sînt în general mici și sînt suportate de izolația instalațiilor electrice.

Suprasarcinile, scurtcircuitele și supratensiunile pun în pericol instalația în care ele se manifestă.

c) *Dispariția tensiunii sau scăderea ei sub anumită limită*, urmată de revenirea neașteptată a tensiunii la valoarea normală, reprezintă o situație periculoasă atît pentru instalație, cît și pentru oameni. La dispariția tensiunii, motoarele se opresc; dacă nu se iau măsuri speciale, la revenirea tensiunii, motoarele oprite sînt găsite cu reostatele de pornire scurtcircuitate (din funcționarea anterioară); ca urmare, motoarele vor suferi șocuri importante de curent. Din acest motiv, motoarele trebuie deconectate automat la dispariția tensiunii sau la scăderea ei sub anumită limită. Personalul de deservire care ar constata lipsa tensiunii într-o instalație și ar cerceta remedierea defectului este pus în pericol la reapariția neașteptată a tensiunii. De asemenea, cînd tensiunea scade, dacă puterea cerută la arborele motoarelor rămîne constantă, la valoarea nominală, motoarele intră în regim

[1] Se reamintește că între două sau mai multe conductoare paralele străbătute de curenți, apar forțe mecanice de atracție sau de respingere după cum curenții sînt de același sens sau de sens contrar; aceste forțe sînt denumite *forțe electrodinamice*.

de suprasarcină[1]; în cazul motoarelor sincrone şi asincrone de curent alternativ, la care cuplul maxim este proporţional cu pătratul tensiunii, motoarele se pot opri.

În toate cazurile, cînd într-o instalaţie revenirea tensiunii este nedorită (sau cum se spune, cînd nu este permisă autopornirea), trebuie făcută o protecţie minimală de tensiune, folosind relee minimale de tensiune cu acţiune instantanee sau temporizată.

d) *Apariţia tensiunii pe piesele metalice care în mod normal nu sînt sub tensiune*, ca urmare a unui defect de izolaţie, pune în pericol viaţa oamenilor prin accidentele de electrocutare care se pot produce; de asemenea, cînd aceste piese vin în contact cu altele, se pot produce scîntei foarte periculoase, dacă instalaţia funcţionează într-un mediu exploziv.

Contra acestei situaţii anormale se face un control cît mai eficace al izolaţiei (de preferat un control permanent) şi se leagă la pămînt toate piesele metalice care în mod normal nu sînt sub tensiune şi care, ajungînd întîmplător sub tensiune, ar putea fi atinse cu mîna[2].

e) *Producerea de scîntei în medii explozive*, de către contactele aparatelor de conectare, de către periile colectoarelor şi inelelor colectoare etc. pot produce aprinderea mediului.

Pentru a evita acest lucru, aparatele şi maşinile destinate a funcţiona în medii explozive sînt închise în carcase speciale antideflagrante.

Deoarece scurtcircuitele reprezintă unul din cazurile care pot avea urmări foarte grave într-o instalaţie, iar reglarea aparatelor de protecţie se face în funcţie de valoarea lor, înainte de a trece la studiul protecţiei diferitelor instalaţii, se va analiza pe scurt problema curenţilor de scurtcircuit.

2. Curenţii de scurtcircuit

Cînd izolaţia dintre două conductoare ale unei instalaţii electrice, ale unei reţele sau ale unui aparat se degradează şi cele două conductoare, între care există o diferenţă de potenţial, ajung în contact unul cu celălalt, direct sau prin intermediul unei impedanţe foarte mici, se spune că s-a produs un *scurtcircuit*.

---

[1] Neglijînd randamentul motorului: $P_n = U_n \cdot I_n$ în curent continuu şi $P_n = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_n \cos \varphi_n$ în curent alternativ trifazat, dacă P_n este constantă, iar tensiunea U_n scade, atunci curentul prin motor creşte peste valoarea nominală I_n, deci, motorul intră în regim de suprasarcină.

[2] Vezi Cap. XXII.

Curentul care trece prin circuitul astfel închis se numeşte *curent de scurtcircuit* şi este foarte mare în comparaţie cu curentul normal al instalaţiei.

Întreruperea curenţilor de scurtcircuit se face cu întreruptoare automate sau cu siguranţe fuzibile care să aibă o putere de rupere satisfăcătoare (curentul de rupere al aparatului trebuie să fie, la tensiunea respectivă, mai mare sau egal cu curentul de scurtcircuit). De multe ori, apare necesitatea ca, montînd în serie pe circuit o bobină de reactanţă, curenţii de scurtcircuit să fie limitaţi la valori mai mici, considerate suportabile de instalaţie (ca eforturi electrodinamice şi încălziri) şi care să poată fi întrerupţi de întreruptoarele şi siguranţele montate pe circuit.

În afară de degradarea izolaţiei (cauza cea mai frecventă), scurtcircuitele mai pot fi produse în urma unor manevre greşite sau din cauza animalelor (şoareci, păsări) care vin în contact cu piesele sub tensiune.

Scurtcircuitele pot fi de mai multe feluri:

a) *scurtcircuit trifazat*, cînd scurtcircuitul se produce între toate cele trei conductoare ale unei reţele trifazate. De obicei, în acest caz, curenţii pe fiecare fază sînt egali între ei şi simetric defazaţi la 120°;

b) *scurtcircuit bifazat*, cînd scurtcircuitul se produce numai între două faze. În acest caz, curenţii care circulă pe cele două faze defecte sînt egali şi de sens contrar.

Atît scurtcircuitele trifazate, cît şi cele bifazate pot fi însoţite de puneri la pămînt;

c) *scurtcircuit monofazat*, cînd scurtcircuitul se produce între o fază şi pămînt sau între o fază şi conductorul neutru. În reţelele cu neutrul izolat, defectarea izolaţiei faţă de pămînt a unei singure faze nu duce la apariţia unui curent de scurtcircuit, deoarece nu se închide un circuit pe care să poată circula curentul. Dacă simultan cu aceasta se mai degradează şi izolaţia unei alte faze, atunci apare un scurtcircuit bifazat.

3. Protecţia motoarelor electrice

Motoarele folosite în mod curent sînt protejate:

— contra suprasarcinilor;

— contra scurtcircuitelor;

— contra dispariţiei sau scăderii tensiunii sub anumite limite.

a) *Protecţia motoarelor electrice contra suprasarcinilor* se face de obicei cu ajutorul releelor electrotermice sau al releelor maxi-

male de curent temporizate, şi mai rar cu ajutorul siguranţelor fuzibile.

Releul electrotermic, folosit în special la joasă tensiune, trebuie astfel reglat, încît curentul său de lucru ($I_{l\ rel}$) să fie egal cu curentul nominal al motorului protejat ($I_{n\ mot}$). Curentul de lucru al releului electrotermic poate fi reglat în fracţiuni $k = 0{,}6-1$ din curentul nominal al releului ($I_{n\ rel}$); aceste fracţiuni sînt marcate pe dispozitivul de reglaj al releului. În consecinţă, releul trebuie reglat pe reperul:

$$k = \frac{I_{n\ mot}}{I_{n\ rel}}. \qquad (21.1)$$

Curentul nominal al releului (curentul pentru care a fost construit releul) este de obicei acelaşi cu curentul nominal al aparatului în care este montat releul; curentul nominal al aparatului este marcat pe plăcuţa indicatoare a aparatului. Rezultă că un aparat cu un curent nominal, $I_{n\ ap}$, care conţine relee electrotermice, poate asigura protecţia contra suprasarcinilor la orice motor electric al cărui curent nominal $I_{n\ mot}$ este cuprins între limitele

$$0{,}6\ I_{n\ ap} \leqslant I_{n\ mot} \leqslant I_{n\ ap}. \qquad (21.2)$$

Cînd curentul prin releele electrotermice depăşeşte valoarea reglată ($I_{l\ rel}$), ele comandă, prin contactele lor de lucru, deschiderea întreruptorului, ca şi în cazul aparatelor din figurile 12—15; 12—16; 12—28 şi 12—30, *b*.

Timpul de acţionare a releului electrotermic este cu atît mai mic, cu cît suprasarcina este mai mare; deoarece producerea încălzirii releului prin efect Joule-Lenz cere un timp oarecare, releul nu lucrează la şocurile de curent (la curenţii de pornire).

Deoarece suprasarcina reprezintă o creştere de curent simultană pe toate trei fazele sau cel puţin pe două faze (cînd se întrerupe una din faze şi „motorul rămîne în două faze"), releele electrotermice se montează numai pe două faze ale unui circuit trifazat.

Cînd motorul electric funcţionează în regim intermitent sau condiţiile de răcire ale releului diferă de cele ale motorului (care este amplasat în alt loc), releul nu se mai încălzeşte la fel cu motorul şi protecţia efectuată nu mai este corespunzătoare (cînd condiţiile de răcire ale motorului sînt mai rele decît cele ale releului, motorul se poate arde). În aceste cazuri, este raţional ca releul termic să fie aşezat chiar pe carcasa motorului şi să comande de la distanţă deschiderea aparatului de conectare a motorului.

Utilizarea siguranţelor fuzibile normale pentru protecţia contra suprasarcinilor este dificilă, deoarece siguranţa aleasă să se ardă la o anumită suprasarcină se va arde la curentul de pornire al motorului; dacă siguranţa se alege atît de mare încît să nu se ardă la curentul de pornire, ea nu mai poate face protecţia contra suprasarcinilor. Numai folosirea siguranţelor cu inerţie şi cu întîrziere poate soluţiona problema în acest caz.

Pentru protecţia contra suprasarcinilor a motoarelor de putere mai mare, de joasă tensiune, dar mai ales de înaltă tensiune, se folosesc relee maximale de curent cu acţiune temporizată, cum sînt releele electromagnetice prevăzute cu dispozitiv de temporizare sau care acţionează prin intermediul unui releu de timp; de asemenea, se folosesc relee de inducţie (maximale de curent) care, aşa după cum s-a arătat, pot lucra atît temporizat cît şi instantaneu.

b) *Protecţia motoarelor electrice contra scurtcircuitelor* se face cu ajutorul releelor maximale de curent cu acţiune instantanee sau cu ajutorul siguranţelor fuzibile.

În cazul reţelelor cu neutrul legat la pămînt, unde pot apărea şi scurtcircuite monofazate, releele electromagnetice sau siguranţele fuzibile trebuie montate pe toate cele trei faze; în reţelele cu neutrul izolat, unde scurtcircuitele monofazate nu pot apărea, este suficient ca aparatele de protecţie (relee, siguranţe) să fie montate numai pe două faze.

Releul trebuie astfel reglat, încît el să nu lucreze la curentul de pornire al motorului, dar să lucreze la curenţi mai mari decît acesta. La joasă tensiune se ia:

$$I_{l\ rel} = 1{,}2\ I_{p\ mot} \tag{21.3}$$

în care:

$I_{l\ rel}$ este curentul de lucru al releului (reglat pe releu);
$I_{p\ mot}$ — curentul de pornire al motorului, apreciat după standarde sau cataloage.

Cînd aparatul de conectare (întreruptor sau contactor) acţionat de aparatele de protecţie se găsesc la o distanţă mai mare de motorul respectiv, releele trebuie să asigure şi protecţia cablului; în acest caz, curentul de lucru al releului trebuie să satisfacă o condiţie în plus, şi anume să fie mai mic decît curentul minim de scurtcircuit pentru un defect bifazat la capătul cablului dinspre motor:

$$I_{l\ rel} \leqslant (0{,}75 \ldots 0{,}85)\ I_{sc}. \tag{21.4}$$

Cînd curentul prin releu depăşeşte valoarea reglată ($I_{l\ rel}$), releul comandă deschiderea întreruptorului fie indirect, printr-un contact de lucru (figura 12—21, *b*; 12—26, *b*; 12—24; 12—30, *b*

şi 12—40), fie direct, acţionînd mecanic asupra sistemului de zăvorîre al întreruptorului (fig. 12—21, *a*).

c) *Protecţia motoarelor electrice contra dispariţiei sau scăderii tensiunii sub o anumită limită* se face cu ajutorul releelor minimale de tensiune care — la joasă tensiune — lucrează conform STAS 4196-51, aşa cum s-a arătat în capitolul XII, paragraful 3. În cazul contactoarelor sau în cazul întreruptorului DITU, bobina de acţionare a contactelor are chiar rolul releului minimal de tensiune. La joasă tensiune, releele minimale de tensiune nu au repere gradate pentru reglaj, acesta efectuîndu-se la fabrică, în funcţie de tensiunea nominală a aparatului, înscrisă pe plăcuţa sa indicatoare.

4. Protecţia reţelelor electrice

În cele ce urmează se va avea în vedere numai protecţia reţelelor de joasă tensiune.

Protecţia se face contra suprasarcinilor şi scurtcircuitelor care, prin încălzirile pe care le-ar produce, ar îmbătrîni izolaţia, ar distruge-o, sau ar constitui chiar o sursă de incendiu.

Protecţia se realizează cu ajutorul siguranţelor fuzibile sau al releelor electromagnetice (cu acţiune instantanee).

Siguranţele fuzibile se aleg conform relaţiilor 12.3...12.5 şi tabelelor 20—1 şi 20—2.

Pentru ca la scurtcircuit siguranţa să se ardă suficient de repede, astfel încît cablul să nu ajungă la încălziri periculoase, se recomandă ca, în cazul reţelelor în cablu, curentul minim de scurtcircuit (I_{sc}), pentru un defect la capătul cablului protejat, să fie de circa trei ori mai mare decît curentul nominal al fuzibilului folosit.

Cînd cablul protejat este prea lung, curentul de scurtcircuit poate deveni prea mic în raport cu fuzibilul ales şi protecţia nu funcţionează corespunzător; în acest caz, ar trebui mărit curentul de scurtcircuit prin folosirea unui cablu cu secţiunea mai mare.

Cînd protecţia contra scurtcircuitelor se face cu relee electromagnetice maximale de curent, curentul de lucru al releelor trebuie să respecte relaţiile:

$$I_{l\ rel} \geqslant 1{,}2\ I_{max} \qquad (21.5)$$
$$I_{l\ rel} \leqslant 0{,}75...0{,}85\ I_{sc}$$

în care: I_{max} este curentul maxim care poate apărea în cablu în funcţionare normală şi care se determină cu relaţia 12–4, iar

I_{sc} — curentul pentru un scurtcircuit bifazat la sfîrşitul cablului protejat.

În plus se recomandă ca valoarea curentului de lucru al releului să nu depășească cu mai mult decît 50% curentul nominal al fuzibilului indicat în tabele la secțiunea respectivă a cablului.

În cazul rețelelor arborescente, protejate cu siguranțe fuzibile, curentul nominal al unui fuzibil din amonte trebuie să fie mai mare cel puțin cu o treaptă decît curentul nominal al siguranței din aval; în felul acesta se asigură selectivitatea protecției, adică protecția întrerupe numai circuitul defect. Cînd protecția se face cu relee, selectivitatea se obține mărind curenții de lucru ai releelor întreruptoarelor, pe măsură ce se parcurge rețeaua de la receptoare spre transformator.

Se înțelege că asigurarea selectivității se face cu respectarea relațiilor de alegere a fuzibilelor sau de reglaj al releelor.

5. Protecția transformatoarelor

Defectele care pot apărea la un transformator se împart în:

— defecte externe, care constau în suprasarcini și scurtcircuite produse pe circuitul secundar legat la transformator;

— defecte interne, care constau în scurtcircuit între bobinajele transformatorului sau în defecte de izolație între bobinaje și cuvă sau miez. Cînd se strică izolația dintre primar și secundar, înalta tensiune pătrunde în instalația de joasă tensiune.

Protecția contra defectelor externe se face de obicei cu aparate montate pe partea de joasă tensiune, la ieșirea din transformator. În general, se folosesc siguranțe fuzibile.

Protecția contra defectelor interne se realizează cu ajutorul aparatelor montate pe înalta tensiune, la intrarea în transformator.

În cazul postului de transformare cu un singur transformator, aparatele montate la intrarea transformatorului pot fi reglate să funcționeze și la defectele externe; atunci nu mai sînt necesare aparate la ieșirea din transformator și acesta poate fi conectat direct la barele de joasă tensiune, obținîndu-se astfel o schemă mai simplă.

Pentru protecția contra defectelor interne se folosește și un releu special, numit „releu de gaze" (sau releu Bucholz). Releul de gaze se montează pe conducta de legătură între conservatorul de ulei și cuva transformatorului. Funcționarea lui se bazează pe producerea de gaze în transformator, la apariția unui defect; la defecte neînsemnate, cantitatea de gaze produse este mică, iar releul, sesizîndu-le, pune în funcțiune o semnalizare; dacă defectul este grav, cantitatea de gaze este mare și releul comandă deconectarea transformatorului de la rețea. Releul de gaze se utilizează la transformatoarele cu puteri de la 320 kVA în sus.

6. Protecția instalațiilor contra supratensiunilor

După cum s-a arătat, supratensiunile deosebit de periculoase sînt supratensiunile de origine externă, produse de electricitatea atmosferică. Pentru protecția contra loviturilor directe de trăznet se folosesc paratrăznete. Paratrăznetul este o tijă metalică bine legată la pămînt printr-o priză de pămînt. Priza de pămînt este realizată fie printr-o placă metalică, fie prin una sau mai multe țevi metalice îngropate în pămînt (vezi capitolul XXII-3). Zona cuprinsă în jurul paratrăznetului este ferită de loviturile directe de trăznet. Pentru a mări zona protejată se folosesc mai multe paratrăznete.

Contra supratensiunilor ce vin de pe rețelele aeriene și pătrund în instalațiile electrice se folosesc descărcătoarele. Descărcătorul este un aparat care se leagă între conductele liniei aeriene și pămînt. Cînd tensiunea crește peste o anumită limită, descărcătorul „ se amorsează", scurgînd spre pămînt sarcinile electrice care au produs supratensiunea; cînd tensiunea revine la normal, descărcătorul iese din funcțiune. Sub forma cea mai simplă, descărcătorul este construit cu un eclator.

Eclatorul se compune din două piese metalice, una legată la linie, iar alta la pămînt; între cele două piese metalice se află un spațiu de aer. Cînd tensiunea liniei crește peste o anumită limită, spațiul de aer este străpuns iar sarcinile electrice datorite electricității atmosferice se scurg, prin arcul format, de la linie la pămînt; cînd tensiunea revine la normal, arcul electric se stinge și legătura la pămînt este întreruptă. Descărcătoarele moderne folosesc rezistențe variabile cu tensiunea; la creșterea tensiunii, rezistența descărcătorului scade, scurgînd sarcinile la pămînt; la revenirea tensiunii la valoarea normală, rezistența descărcătorului devine din nou foarte mare, izolînd linia față de pămînt.

Capitolul XXII

Protecția contra accidentelor de electrocutare

1. Accidente de electrocutare

Trecerea curentului prin corpul omenesc se numește electrocutare. În anumite condiții, cînd curentul care trece prin corpul omenesc depășește o anumită valoare (de obicei peste 50 mA), accidentele de electrocutare pot fi mortale.

Pentru ca prin om să treacă un curent electric, între două puncte ale corpului, trebuie să i se aplice o tensiune electrică numită *tensiune de atingere* U_a. Curentul care va trece prin corpul omului va depinde de rezistența R_{om} a acestuia și va avea valoarea:

$$I = \frac{U_a}{R_{om}}.$$

Rezistența corpului omenesc depinde de foarte mulți factori și poate fi de ordinul 100 000 Ω, cînd pielea este uscată și intactă; ea scade la 800—1 000 Ω, cînd pielea este umedă și contactul este bine făcut. În calculele practice se consideră că rezistența minimă a corpului omenesc este de 1 000 Ω în locurile foarte periculoase (locuri și încăperi umede, încăperi cu vapori corozivi, cu praf bun conducător de electricitate, locuri cu temperatură peste 30°C etc.) și de 3 000 Ω în locuri periculoase (locuri în apropierea instalațiilor electrice deservite de personal calificat, încăperi cu pardoseală bună conducătoare de electricitate — pămînt, cărămidă, beton, plăci metalice etc.). Folosirea în practică a mănușilor de cauciuc, a galoșilor de cauciuc și a covorașelor izolante au ca scop să mărească în mod artificial rezistența circuitului închis prin corpul omului, micșorînd astfel la valori nepericuloase curentul electric care trece prin organism.

Curentul electric, trecînd prin organism, produce *șocuri electrice* și *traumatisme electrice*. Șocul electric este urmarea acțiunii curentului electric asupra organelor interne și asupra sistemului nervos; șocul electric produce zguduitură și comoții sau poate

duce la paralizia respirației și la paralizia inimii, urmată de moarte. Intensitatea acestor efecte depinde de durata și de mărimea curentului și de drumul parcurs de curent prin corp. Situația cea mai periculoasă este atunci cînd tensiunea de atingere se aplică între *mîna dreaptă* și *picioare*, deoarece în acest caz, curentul care trece prin inimă este maxim. Pe baza cercetărilor s-a stabilit că de la 50 mA în sus, curentul devine periculos, deoarece poate produce paralizia respirației. Rezultă de aici că tensiunea de atingere de la care începe să apară pericolul, în caz de electrocutare, este:

$$U_a = R_{om} \quad i_{om} = 1\,000 \cdot 0{,}050 = 50 \text{ V}.$$

De aceea, tensiunea nepericuloasă este considerată la noi în țară (STAS 2 612-54) cea de 50 V în curent continuu și de 36 V în curent continuu sau alternativ (aceasta pentru locuri de lucru cu umiditate de 100%, încăperi cu vapori corozivi sau cu gaze și lichide refrigerente, precum și la lucrări pe construcții metalice). În multe țări, tensiunea nepericuloasă este considerată 50 V în c.c. și 24 V în c.a. Practica a dovedit însă că, în general, chiar la tensiuni de atingere de 40 V nu apar cazuri mortale.

Traumatismul electric constă în semne electrice (umflături pe piele), arsuri sau electrometalizări produse de acțiunea curentului și a arcului electric. Este de reținut că, oricît de grave ar fi traumatismele, ele produc rareori moartea. *În general, dacă inima nu a încetat să bată, un electrocutat moare prin asfixie din cauza paraliziei respirației. De aceea, făcînd respirație artificială unui electrocutat, el poate fi readus la viață.* Respirația artificială trebuie făcută rațional, așa cum se arată în normele de tehnică a securității și un timp suficient de lung, care uneori poate atinge 6 și chiar 8 ore. Deseori, în practică, se face greșeala de a nu începe respirația artificială imediat și din lipsă de instruire ea este făcută și într-un mod defectuos, ceea ce duce la pierderea unei vieți care putea fi salvată.

2. Producerea accidentelor de electrocutare și mijloace pentru prevenirea lor

Cauzele accidentelor de electrocutare sînt: *a*) atingerea de către om a pieselor sub tensiune, de exemplu, a conductoarelor unei linii aeriene, a bornelor unui aparat etc.; *b*) atingerea pieselor care în mod normal nu sînt sub tensiune, de exemplu a

carcaselor maşinilor, a carcaselor aparatelor etc., dar care ajung sub tensiune în mod accidental, de cele mai multe ori în urma unor defecte de izolaţie.

Din analiza cauzelor rezultă şi principalele mijloace de prevenire a accidentelor de electrocutare. Astfel, pentru a micşora riscul atingerii pieselor sub tensiune, instalaţiile şi aparatele electrice sînt construite în aşa fel, încît piesele sub tensiune nu sînt accesibile. Pentru aceasta se respectă anumite norme de construcţie, se asigură o izolaţie corespunzătoare sau se fac uneori o serie de blocaje mecanice şi electrice, care nu permit atingerea pieselor (contacte, relee etc.) decît după scoaterea lor de sub tensiune (pe scurt: nu se poate deschide carcasa unui aparat decît după ce au fost scoase de sub tensiune piesele care ar putea fi atinse cînd carcasa este deschisă; repunerea sub tensiune se poate face numai după ce se reînchide carcasa). În alte cazuri, pentru ca atingerea pieselor sub tensiune să nu reprezinte un pericol se utilizează tensiuni reduse (12 V, 24 V, 36 V, 48 V).

Pentru a micşora riscul atingerii sub tensiune a pieselor metalice care, în mod accidental, pot ajunge sub tensiune, se întreţine în cît mai bune condiţii izolaţia instalaţiei, iar piesele metalice, care, în mod normal, nu sînt sub tensiune, se leagă la pămînt prin prize de punere la pămînt sau se leagă la firul neutru; dacă aceste piese pot veni, în mod normal, în contact cu corpul omenesc (ex. mînerele uneltelor electrice), ele se acoperă şi cu un strat izolant (cauciuc).

Cazul cel mai periculos de electrocutare este atunci cînd omul atinge simultan două faze ale reţelei; în această situaţie, oricare ar fi tensiunea reţelei (127, 220, 380, 500 sau 660 V), curentul care trece prin corpul omului este la fel de periculos şi poate produce moartea.

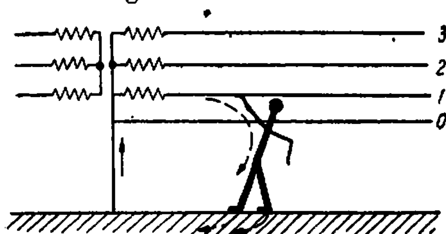


Fig. 22-1. Atingerea de către om a unei singure faze la reţeaua cu neutrul pus la pămînt.

Practic însă, cele mai frecvente accidente se întîmplă prin atingerea unei singure faze a reţelei de către un om care stă cu picioarele pe pămînt. În această situaţie, dacă reţeaua are neutrul legat la pămînt (fig. 22—1), tensiunea de atingere va fi cel mult egală cu tensiunea de fază a reţelei. În reţeaua cu neutrul izolat, atingerea

unei faze (fig. 22—2) nu duce la nici un accident, deoarece atît timp cît izolația rețelei față de pămînt este bună, prin corpul omului nu trece un curent periculos; cu cît însă re-

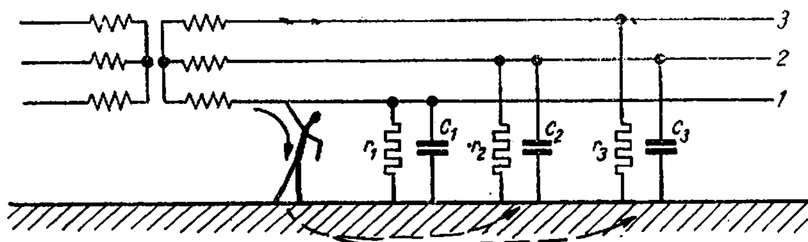


Fig. 22-2. Atingerea de către om a unei singure faze la rețeaua cu neutrul izolat.

zistențele de izolație r sînt mai mici și cu cît capacitățile C ale fazelor față de pămînt sînt mai mari (cazul unei rețele cu o lungime mare de linii și cabluri), curentul care trece prin corpul omului crește și poate deveni periculos. În acest caz, circuitul electric este următorul (fig. 22—2): faza 1, corpul omului, rezistența r_2 în paralel cu capacitatea C_2, faza 2 și tot de la corpul omului mai departe rezistența r_3 în paralel cu capacitatea C_3, faza 3. (Curenții care trec prin capacitățile fazelor față de pămînt se numesc *curenți capacitivi*.) În cazul particular, cînd una dintre faze este pusă la pămînt și omul atinge una din celelalte două faze, pericolul este maxim, deoarece tensiunea de atingere devine egală cu tensiunea de linie.

Este însă de remarcat că punerea la pămînt a unei singure faze în rețeaua cu neutrul izolat nu duce la apariția unui curent de scurtcircuit și de aceea nu implică deconectarea circuitului respectiv. Este necesar însă ca printr-un control riguros al izolației rețelei să se detecteze imediat orice defect de izolație între o fază și pămînt (defect monofazat) și să se înlăture, pentru a se evita astfel, pericolul maxim arătat mai înainte.

În rețeaua cu neutrul legat la pămînt, atingerea unei faze este totdeauna periculoasă, iar punerea la pămînt a unei faze duce, în acest caz, la apariția unui curent de scurtcircuit monofazat, ceea ce impune deconectarea circuitului respectiv. Rețeaua cu neutrul legat la pămînt are însă avantajul că oferă două tensiuni (tensiunea de fază, folosită pentru receptoarele de ilumi-

nat şi unele receptoare de forţă monofazate şi tensiunea de linie folosită pentru receptoarele de forţă).

De aceea, deşi din punctul de vedere al pericolului de electrocutare, reţeaua cu neutrul izolat este mai avantajoasă, ea nu are totuşi utilizare generală, ci ea se utilizează numai acolo unde pericolul de electrocutare este foarte mare, ca, de exemplu,

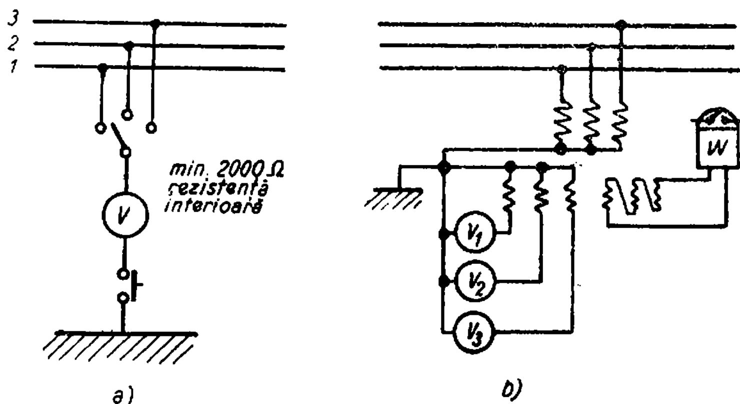


Fig. 22-3. Controlul izolaţiei reţelei cu neutrul izolat:
a) prin folosirea unui singur voltmetru; *b*) prin folosirea a trei voltmetre şi a unui transformator de tensiune.

în exploatările miniere subterane, sau acolo unde nu este nevoie de două tensiuni.

Controlul izolaţiei reţelei cu neutrul izolat se efectuează, reţeaua fiind în funcţiune, folosind un voltmetru legat pe rînd între faze şi pămînt (fig. 22-3, *a*) sau trei voltmetre legate între faze şi pămînt prin intermediul unui transformator de tensiune special, cu cinci coloane (fig. 22-3, *b*). În mod normal, fiecare voltmetru indică tensiunea de fază a reţelei.

La apariţia unui defect de izolaţie între fază şi pămînt, tensiunea fazei respective faţă de pămînt scade, iar tensiunile celorlalte două faze cresc spre valoarea tensiunii de linie. În cazul folosirii transformatorului cu cinci coloane, acesta mai dispune de trei bobinaje auxiliare care — legate în serie — alimentează un releu de tensiune; tensiunea produsă de ele este cu atît mai mare, cu cît defectul de izolaţie este mai pronunţat; la un anumit grad de defect, releul pune în funcţiune o semnalizare sau comandă, chiar deconectarea circuitului.

Aceste sisteme nu sînt însă prea corespunzătoare în reţelele de cabluri. În aceste cazuri, sistemele moderne de control al izolaţiei reţelei cu neutrul izolat se bazează pe măsurarea în curent continuu a rezistenţei de izolaţie, în mod permanent, chiar atunci cînd reţeaua este în funcţiune.

3. Protecția contra electrocutării prin punerea la pămînt

Toate carcasele mașinilor și aparatelor, precum și alte piese metalice care pot fi atinse, de exemplu, manșoanele de legătură, armătura cablurilor etc. care, în mod normal, sînt izolate de piesele sub tensiune, dar accidental, pot ajunge sub tensiune, se leagă la pămînt cu ajutorul prizelor de punere la pămînt. Prin aceasta se urmărește ca pămîntul și diferitele piese metalice să fie legate electric între ele și să aibă mereu același potențial; în această situație, un om care, stînd cu picioarele pe pămînt, atinge o piesă metalică (ajunsă accidental sub tensiune), nu va mai fi supus unei diferențe de potențial — prin corpul lui nu va mai trece un curent și deci nu va mai fi electrocutat. În realitate, datorită curenților[1] care se scurg prin priza de pămînt, atunci cînd apare tensiune pe piesa legată la pămînt, între piesa respectivă și pămînt apare totuși o diferență de potențial, egală cu căderea de tensiune *RI* produsă de trecerea curenților (de scurgere) prin priza de pămînt; de aceea, pentru ca tensiunea de atingere să fie cît mai mică, trebuie ca rezistența prizei de pămînt să fie cît mai mică și curenții de scurgere să fie cît mai mici. După cum s-a arătat, curenții sînt mici numai în rețelele cu neutrul izolat; de aceea, în aceste rețele, protecția prin punerea la pămînt este eficace.

În rețelele cu neutrul legat la pămînt, curenții de scurgere sînt mari și de aceea tensiunile de atingere pot fi mari; aici însă, la apariția unui defect de izolație, se contează pe deconectarea automată a circuitului respectiv. Pentru ca, în adevăr, curentul care apare la un defect monofazat de izolație să fie suficient de mare ca să poată provoca arderea siguranței sau deschiderea întreruptorului automat, toate piesele metalice (carcasele) se leagă în mod obligatoriu la firul neutru; firul neutru este legat la pămînt în mai multe puncte. În acest caz, se spune că protecția se face prin legarea la firul neutru (sau la nul).

Prizele de punere la pămînt se construiesc din electrozi formați din țevi de oțel cu un diametru de minimum 35 mm și cu o lungime de cel puțin 1,5—2 m, îngropați într-un pămînt cu o rezistivitate cît mai mică (în acest scop, pămîntul poate fi umezit sau tratat special cu săruri). Legarea pieselor metalice

---

[1] Curentul de scurtcircuit monofazat la rețeaua cu neutrul legat la pămînt; curenții capacitivi și prin rezistența de izolație la rețeaua cu neutrul izolat.

la prizele de pămînt se face prin conductoare de oţel de o secţiune de cel puţin 50 mm².

În locul ţevilor, se pot utiliza benzi de oţel sau plăci de oţel cu o suprafaţă de cel puţin 0,6 m². Rezistenţele prizelor astfel construite, cu un singur electrod, sînt de ordinul zecilor de ohmi; pentru a obţine rezistenţe mai mici se leagă mai mulţi electrozi în paralel (se fac prize multiple). Prizele se dimensionează astfel, încît la cel mai mare curent de scurgere al instalaţiei respective, tensiunile de atingere să nu depăşească: 40 V — la instalaţii mobile în general, sau la orice instalaţie în subteranul minelor; de 65 V — la instalaţii fixe; 150 V — la staţiile de transformare cu personal de deservire; 200 V — la staţiile de transformare fără personal de deservire.

Capitolul XXIII

Tracțiunea electrică

1. Noțiuni generale. Clasificarea principalelor tipuri de tracțiune electrică

Una din cele mai importante aplicații mecanice ale electricității o constituie tracțiunea electrică, adică utilizarea motoarelor electrice pentru acționarea diferitelor mijloace de transport.

Spre deosebire de alte sisteme de motoare, cum sînt cele cu abur sau cu explozie, care produc energia mecanică direct din combustibili, constituind adevărate uzine mobile atunci cînd sînt folosite pe vehicule și funcționînd cu randament scăzut, motorul electric reprezintă numai un transformator de energie electrică în energie mecanică.

Ținînd seamă de faptul că randamentul centralelor termoelectrice este mult superior celui al motoarelor termice mici de pe vehicule, și de faptul că randamentul mașinilor electrice mari este în general mai mare decît 0,95, se deduce lesne că, din punctul de vedere al economiei de combustibili, tracțiunea electrică este mai avantajoasă decît alte mijloace de tracțiune care produc energia mecanică direct din combustibili.

Motoarele electrice au o greutate, un gabarit și un cost cu mult mai redus decît orice alt sistem de acționare, însă, necesită în schimb instalații speciale de linii de contact, rețele de transport și substații electrice.

În consecință, cu cît numărul de vehicule în funcțiune este mai mare, cu atît avantajul tracțiunii electrice este mai mare.

Alte avantaje ale tracțiunii electrice sînt:

— lipsa fumului, avantaj deosebit de important la utilizarea tracțiunii electrice în mine, în uzine, pe traseele subterane, sau în interiorul aglomerărilor de locuințe;

— mărirea vitezei transporturilor efectuate, prin faptul că accelerarea vehiculului poate fi sporită, cuplul de pornire al motoarelor electrice folosite în tracțiune fiind mai mare decît la motoarelor cu abur sau cu explozie;

— realizarea unui cuplu motor uniform care, împreună cu micşorarea timpului de pornire şi oprire, conduce la scurtarea timpului de ocupare a liniei între stații şi la sporirea capacității de transport a unei linii date;

— posibilitatea recuperării unei părți din energia consumată de alte convoaie, prin restituirea în rețeaua de alimentare a energiei cîştigate prin efectuarea frînării electrice recuperative la opriri sau la coborîri de pante mai lungi.

Afară de avantajele amintite, se mai pot cita altele:

— o importantă economie de transport, prin faptul că dispare necesitatea de a transporta combustibil mult şi greu, cum este cazul la tracțiunea cu abur;

— locomotivele electrice au o mare capacitate de supraîncărcare temporară;

— tracțiunea electrică permite comanda dintr-un singur post a mai multor vehicule motoare;

— locomotivele electrice au posturi de comandă la ambele capete, deci nu mai este necesară placa turnantă sau manevre în triunghi;

— personalul utilizat lucrează în condiții mult mai uşoare, fără a fi supus intemperiilor şi fără a executa munci fizice grele.

Dezavantajele pe care le prezintă față de tracțiunea cu abur, sînt:

— cost mai ridicat atît pentru locomotiva propriu-zisă, cît şi pentru instalațiile fixe;

— necesită un personal cu o calificare tehnică ridicată.

Clasificare. Tracțiunea electrică se poate clasifica după mai multe criterii:

a) În funcție de poziția pe care o ocupă liniile de trafic față de aşezările omeneşti, tracțiunea poate fi urbană sau feroviară.

b) În funcție de felul energiei folosite: *în curent continuu, în curent alternativ monofazat* sau *în curent alternativ trifazat.*

c) În funcție de mărimea tensiunii de distribuire a energiei electrice: *de joasă tensiune* (numai în curent continuu pînă la 500 V), şi *de înaltă tensiune* (600—3 000 V pentru curent continuu şi 15 000 V pentru curent alternativ).

d) În funcție de felul alimentării cu energie electrică: prin linii de contact alimentate de la centrale sau *stații de redresare*, respectiv *de transformare*, prin *acumulatoare schimbate periodic* sau *alimentate la stații fixe*, și prin *grupuri generatoare acționate direct de motoare*, instalate pe vehicule, de obicei motoare cu combustie internă și mai rar prin turbine.

2. Tracțiunea electrică feroviară

Tracțiunea electrică feroviară poate fi clasificată în:

— tracțiune electrică propriu-zisă, în care energia mecanică e produsă de motoare electrice alimentate de la o linie de contact;

— tracțiune Diesel-electrică, în care se folosesc de asemenea motoare electrice, însă alimentarea acestora se face de la un generator plasat pe locomotivă și antrenat de un motor Diesel. Din aceeași categorie face parte și tracțiunea abur-electrică.

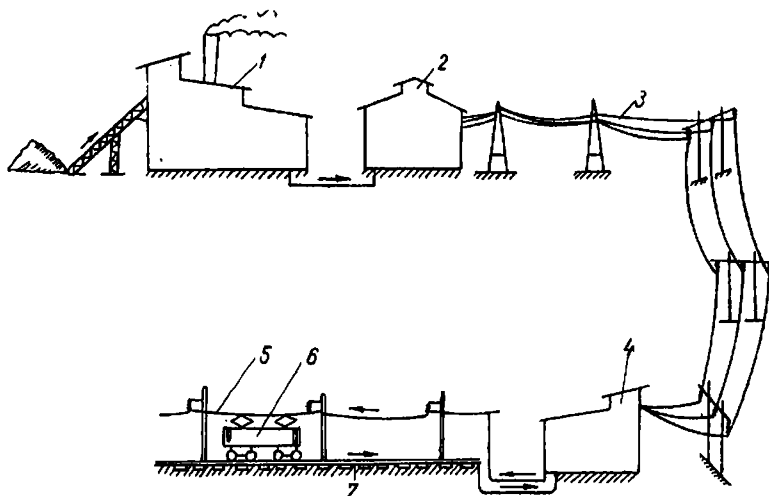


Fig. 23-1. Schema unei instalații de tracțiune electrică feroviară.

Tracțiunea electrică. O instalație de tracțiune electrică feroviară cuprinde în mod obișnuit elementele schițate în figura 23—1. Centralele electrice *1*, care pot fi termo- sau hidroelectrice, furnizează energie electrică, care este transformată de stațiile de transformare *2* la o tensiune înaltă și apoi este transportată prin liniile *3* la substațiile electrice de tracțiune *4*, plasate

de-a lungul căii ferate și care alimentează tronsoane de lungimi potrivite ale liniei de contact *5*. Locomotivele electrice *6* preiau energia electrică de la linia de contact și o transformă în energie mecanică, de tracțiune. Drept conductor de întoarcere a curentului electric la substații servește calea de rulare a liniei ferate *7*, care trebuie să prezinte deci continuitate electrică.

Sistemele de tracțiune electrică feroviară se deosebesc ținînd seama de felul curentului la linia de contact și pot fi: în curent continuu, în curent alternativ monofazat cu frecvența redusă ($16\frac{2}{3}$ sau 25 Hz), în curent alternativ monofazat cu frecvența industrială (50 Hz) și în curent alternativ trifazat.

Sistemul în curent continuu se realizează principial conform figurii 23—2. Substațiile de tracțiune sînt alimentate din rețeaua generală de transport, trifazată, de 50 Hz și produc curentul continuu prin redresarea curentului alternativ cu un număr de faze mai mare decît trei (de obicei 12—18); în acest scop, se folosesc transformatoare cu secundarul special. Tensiunile uzuale la linia de contact sînt: 1,5; 3 și 3,3 kV, limitarea fiind impusă de funcționarea motoarelor serie de curent continuu de pe locomotivă.

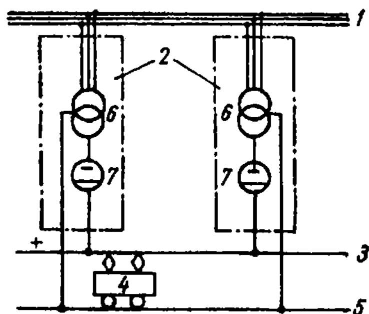


Fig. 23-2. Sistem de tracțiune feroviară în curent continuu:

1 — linie generală de transport de energie electrică; *2* — substație de tracțiune; *3* — linie de contact; *4* — locomotivă electrică; *5* — cale de rulare; *6* — transformatoare trifazate coborîtoare de tensiune; *7* — redresoare.

Avantajul principal al acestui sistem constă în faptul că motoarele de curent continuu serie folosite sînt foarte robuste, simple și prezintă caracteristici ideale pentru tracțiune. În plus, se poate realiza ușor frînarea electrică reostatică sau recuperativă. Dezavantajele sînt: substații complicate și numeroase, din cauza tensiunii reduse la firul de contact, ceea ce duce de asemenea la un consum mare de cupru pentru linia de contact.

Sistemul în curent alternativ trifazat se folosește rar din cauza complicațiilor care apar în stații și la încrucișări la linia de contact bifilară.

Sistemul monofazat cu frecvență redusă $16\frac{2}{3}$ și 25 Hz a apărut la începutul introducerii tracțiunii electrice, pentru a se putea folosi motoarele monofazate serie cu colector, cu o funcțio-

nare acceptabilă din punctul de vedere al comutației. Sistemul prezintă avantajele unei tensiuni ridicate la linia de contact (15 000 V), deci secțiune redusă a conductorului de contact și distanțe mari între substațiile de tracțiune (50—70 km). De asemenea, are avantajul unei mari elasticități în exploatare, deoarece faptul că pe locomotivă există un transformator coborîtor de tensiune cu multe prize pentru reducerea și reglajul tensiunii aplicate motorului, permite un reglaj fin al vitezei. Ca dezavantaj principal trebuie menționat acela că sistemul reclamă sau o rețea proprie de tracțiune de frecvență redusă (fig. 23—3, *a*), ceea ce este costisitor, sau reducerea frecvenței industriale, de la 50 Hz, în substațiile de tracțiune, ceea ce le complică și le scade randamentul (fig. 23—3, *b*).

Sistemul monofazat cu frecvența industrială (50 Hz) a rezultat din tendința de a simplifica și ieftini instalațiile fixe de tracțiune, menținîndu-se totuși tensiunea ridicată la linia de contact (fig. 23—4). Acest sistem întrunește toate avantajele sistemelor precedente și de aceea, în ultimii ani, cîștigă din ce în ce mai mult teren și apare ca un sistem de tracțiune feroviară a viitorului.

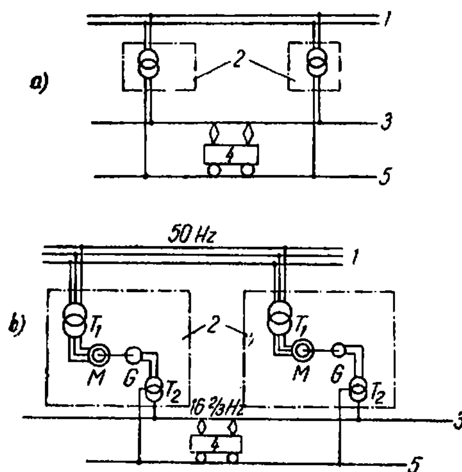


Fig. 23-3. Sistemul de tracțiune feroviară în curent monofazat și frecvență redusă, cu alimentarea din:
a — rețeaua proprie, de frecvență joasă;
b — rețeaua de frecvență industrială (50Hz).

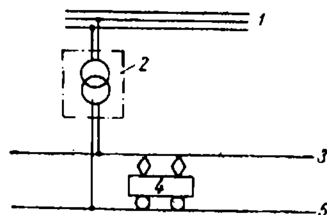


Fig. 23-4. Sistem de tracțiune feroviară în c.a. monofazat de frecvență industrială de 50 Hz.

Dificultatea principală la acest sistem este aceea de a se crea un motor serie cu colector pentru tracțiune, capabil să funcționeze la 50 Hz. Problema nu este încă definitiv rezolvată.

Există însă și alte variante ale acestui sistem, ca de exemplu aceea cu locomotivă convertizoare, avînd montat pe locomotivă

un convertizor (static sau rotativ) de curent alternativ de la 50 Hz în curent continuu (motoarele de tracţiune sînt de curent continuu).

Tracţiunea Diesel-electrică. Ca şi tracţiunea electrică propriu-zisă, tracţiunea Diesel-electrică prezintă faţă de tracţiunea cu abur avantajele enumerate în primul paragraf.

Tracţiunea Diesel-electrică are însă, chiar faţă de tracţiunea electrică propriu-zisă, unele avantaje esenţiale, cum sînt:

— un randament mult mai ridicat. Tracţiunea electrică are un randament total cuprins între 0,12 şi 0,18, pe cînd tracţiunea Diesel-electrică are un randament de 0,23—0,25, deci aproape dublu;

— cheltuieli de investiţie mult mai mici decît tracţiunea electrică. Neavînd nevoie de linii de contact, de staţii de transformare sau de redresare, trecerea de la tracţiunea cu abur la tracţiunea Diesel-electrică poate rezulta, în unele cazuri, mai avantajoasă decît trecerea la tracţiunea electrică.

O locomotivă Diesel-electrică cuprinde un motor Diesel cuplat direct cu un generator de curent continuu care alimentează mai multe motoare cu excitaţie în serie, acţionînd fiecare o osie motoare prin intermediul unui angrenaj fix. Pe arborele motorului Diesel este cuplat şi un generator auxiliar de putere mai mică, servind la alimentarea cu energie a serviciilor auxiliare de pe locomotivă (compresoare, ventilatoare, baterie de acumulatoare, instalaţii de iluminat, circuite de comandă la distanţă ş.a.).

Locomotivele Diesel-electrice sînt utilizate din ce în ce mai des în reţelele mari şi grele de cale ferată, acolo unde tracţiunea electrică normală cu linie de contact nu a putut fi încă realizată, constituind prima etapă în trecerea de la tracţiunea cu abur la tracţiunea electrică.

3. Tracţiunea electrică urbană

Prin tracţiune electrică urbană se înţelege aplicarea electricităţii la propulsia mijloacelor de transport în comun, în interiorul oraşelor, pe trasee dinainte stabilite.

Caracteristica principală a tracţiunii electrice urbane (fig. 23-5) constă în folosirea unor reţele de contact *4* instalate pe trasee fixe, prin care sînt alimentate cu energie electrică motoarele vehiculelor mobile *6*, *7*, *8* de la substaţii de alimentare fixe *1* deservite de instalaţiile de producere, transport şi distribuţie a energiei electrice.

Mijloacele de transport urban în comun se împart în două mari categorii:

— mijloace de transport pe străzi, a căror circulaţie se face în comun cu a celorlalte vehicule (tramvaiul, troleibuzul, autobuzul ş.a.);

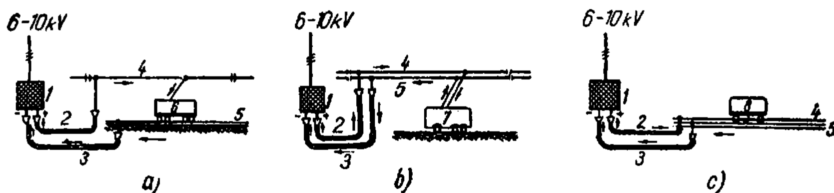


Fig. 23-5. Schema unei instalaţii de tracţiune electrică urbană:
1 — substaţie de alimentare; 2 — cablu de alimentare; 3 — cablu de întoarcere; 4, 5 — reţea de contact; 6 — vagon de tramvai; 7 — troleibuz 8 — vagon de metropolitan.

— mijloace de transport în afara străzilor, care au o cale de rulare proprie la un nivel diferit de cel al străzilor (metropolitanele şi căile ferate suburbane şi de centură).

Mijloacele de transport în comun pe străzi sînt cele mai vechi şi mai importante, asigurînd şi astăzi cea mai mare parte din traficul intern al oraşelor.

Tramvaiele electrice reprezintă un mijloc de transport în comun foarte răspîndit, fiind compuse din vagoane de pasageri automotoare, cu sau fără remorci, care circulă pe şine montate pe străzi, astfel încît să nu împiedice circulaţia celorlalte vehicule. Alimentarea lor se face în curent continuu sub o tensiune de 600 sau 800 V de la un conductor de contact (fig. 23—5, *a*), întoarcerea curentului făcîndu-se prin şine.

Troleibuzele reprezintă un mijloc de transport în comun mai modern, care are caracteristici comune cu tramvaiul (fiind alimentat printr-o reţea de contact) şi cu autobuzul (avînd roţile cu cauciucuri şi oarecare libertate în circulaţia sa care se face totuşi după un traseu anumit). Întrucît întoarcerea curentului nu se mai poate face prin şine, reţeaua electrică de contact este prevăzută cu două conductoare (fig. 23—5, *b*). Tensiunea de serviciu a reţelei este de 800 V şi chiar mai mult (1 000 sau 1 500 V).

În afară de aceste mijloace de transport, pe străzi se folosesc, mai rar, şi alte mijloace de transport care derivă din acestea prin anumite modificări, şi anume:

Autobuzele cu transmisie electrică, care sînt de fapt autobuze echipate cu motoare Diesel şi cu o transmisie electrică

în locul uneia mecanice, formată dintr-un generator care alimentează unul sau mai multe motoare electrice cuplate cu osiile motoare.

Acubuzele. Acestea sînt vehicule asemănătoare cu autobuzele, dar acționate prin motoare electrice alimentate cu curent electric furnizat de o baterie de acumulatoare montată pe vehicul și care se încarcă periodic.

Electrocarele. Sînt vehicule mici folosite pentru transporturi în ateliere, magazii, gări etc. Energia electrică este furnizată de baterii de acumulatoare montate chiar pe vehicule. Pot avea platforme de încărcare fixe sau care se pot ridica.

Locomotivele electrice de mină. Sînt acționate de motoare de curent continuu alimentate de baterii de acumulatoare montate pe ele. Se folosesc în mine pentru remorcarea convoaielor de vagonete cu minereu.

Electrobuzele cu curenți de înaltă frecvență sînt vehicule electrice de transport acționate de motoare electrice alimentate cu energie electrică prin inducție de la conductoare montate în tuburi sub pavajul străzii și străbătute de curenți de înaltă frecvență, rețeaua de contact fiind astfel suprimată. Randamentul transmisiei energiei electrice prin cuplaj inductiv la distanță fiind redus, acest tip de vehicul nu este folosit în mod curent și se află încă în stadiu de experimentare.

Girobuzele sînt vehicule asemănătoare cu acubuzele, dar la care acumularea energiei necesare pentru acționare este obținută sub formă de energie cinetică, înmagazinată într-un volant adus la o turație ridicată cu ajutorul unui motor electric alimentat de la instalații fixe, plasate în anumite puncte ale traseului.

Mijloacele de transport în comun în afara străzilor sînt de fapt căi ferate cu cale de rulare proprie, plasată la un nivel diferit de nivelul străzilor, pentru ca circulația lor să nu stînjenească circulația celorlalte vehicule.

Metropolitanul (metroul) este mijlocul de transport care utilizează căi ferate instalate în interiorul orașelor, cu mici extinderi în comunele suburbane învecinate, circulația trenurilor făcîndu-se într-o succesiune regulată, la intervale scurte, ca și la tramvaie (1,5—2 min) pe cale dublă (dus și întors). Pe porțiunile de traseu comune cu alte trasee de metropolitan, sau la încrucișări de linii, fiecare linie este plasată la un nivel diferit de celelalte. În acest scop, calea metropolitanului este fie înălțată pe toată lungimea traseului, pe deasupra solului, pe estacade, sub forma unui viaduct construit deasupra unei porțiuni din

bulevardele orașului, fie de preferință în subteran, sub forma unui tunel executat sub nivelul străzilor sau la mare adîncime. Trenurile au 6—8 vagoane mari de construcție specială, cele mai multe fiind vagoane electromotoare conduse de un singur manipulant prin comandă electrică multiplă.

Căile ferate suburbane și de centură sînt la fel cu căile ferate interurbane, dar se întind puțin în jurul orașelor (pînă la 50—60 km), au traseul situat în parte în interiorul orașului și au o frecvență de circulație a trenurilor mai mare decît căile ferate normale.

Capitolul XXIV

Sudarea electrică

1. Noțiuni generale. Clasificarea procedeelor de sudare electrică

Definiții. Sudarea electrică constituie unul dintre cele mai rapide, mai ușoare și mai ieftine procedee de îmbinare a pieselor metalice. Îmbinarea realizată prin sudare constă în intrarea atomilor de la periferia pieselor de sudat într-o rețea cristalină comună. Dacă piesele au aproape aceeași compoziție chimică, sudarea este ***omogenă***; în practică, acest procedeu este denumit ***sudare autogenă***, ori mai simplu, *sudare*. Dacă cele două piese au compoziții diferite, sudarea este *eterogenă*; în vorbirea curentă, această sudare este denumită *lipitură*.

Clasificare:

Sudarea electrică se poate executa:

— în stare solidă, printr-o acțiune mecanică de presare și la temperatură potrivită, încălzirea fiind produsă prin trecerea curentului electric prin piesele de sudat. Acest procedeu poartă numele de ***sudare prin rezistență de contact***;

— în stare lichidă, prin topirea capetelor care urmează să fie sudate sau prin topirea unui metal de adaos care mijlocește sudarea, provocate de un arc electric. Acest procedeu poartă numele de ***sudare cu arc electric.***

Lipirea electrică se execută numai în stare lichidă, prin formarea unui aliaj între piesele de îmbinat și un material așezat între ele, a cărui temperatură de topire este inferioară celei a pieselor de lipit.

Aplicațiile sudării în tehnică sînt foarte numeroase: în construcțiile metalice, la construcții de rezervoare, conducte, șine de cale ferată, autovehicule, avioane, turbine, mașini agricole, aparate casnice, aparate de radio etc.

Sudarea electrică se execută atît manual, în cazul atelierelor mici sau al șantierelor, cît și automat, în aplicațiile industriale mari. Puterea generatoarelor și a transformatoarelor de sudare manuală este de cîțiva kilowați; prin urmare, racordul acestor aparate la rețeaua electrică se poate face cu ușurință, în oricare loc. Pentru sudarea automată, puterea instalațiilor este mai mare și costul instalațiilor este mai ridicat.

Sudarea prin rezistență de contact se aplică mai ales la producția în serie și este cea mai indicată pentru automatizare. Puterea electrică necesară este de ordinul sutelor de kilowați. Pentru atelierele mici, cel mai potrivit procedeu este acela al sudării cu arc electric.

Față de alte procedee de sudare (prin focul de forjă, cu gaz și aluminotermică), sudarea electrică se distinge prin folosirea unei energii ieftine și ușor accesibile la orice loc de lucru, și prin faptul că nu modifică structura internă a materialelor sudate, păstrîndu-le rezistența la rupere la valori foarte ridicate (aproape 100%). Sudarea electrică prin rezistență de contact mai are și avantajul că, în afară de energie electrică, nu are nevoie de nici un fel de material de adaos și la sudare nu intervin nici radiații nocive, nici gaze dăunătoare sănătății, nici gaze deflagrante.

2. Sudarea electrică prin rezistență de contact

Această metodă de sudare se bazează pe efectul termic al trecerii curentului electric prin rezistența pe care o constituie suprafața de contact a pieselor ce urmează a fi îmbinate; dacă aceste piese sînt în același timp strînse laolaltă cu o astfel de forță, încît în regiunile lor marginale să se producă o deformație plastică, adică alunecări, atomii marginali intră în sferele lor reciproce de atracție și se încadrează într-o rețea cristalină comună. Sudarea prin această metodă se poate obține cu atît mai ușor cu cît temperatura produsă de trecerea curentului prin rezistența de contact este mai înaltă, din cauza posibilității mărite de a se produce deformația plastică și a mobilității mărite pe care o au atomii.

Piesele de sudat, oricît ar părea de netede suprafețele lor, nu fac contact decît în cîteva puncte (fig. 24—1), în care densiitatea de curent este foarte mare. Gîtuirile liniilor de curent determină *rezistența de contact R*. Căldura dezvoltată în unitatea

de timp, RI^2, fiind concentrată numai în anumite puncte, materialul se încălzește foarte mult în acele puncte și, datorită forței de compresiune exercitate asupra celor două piese, se produce o deformare și apar noi puncte de contact; încălzirea se extinde astfel, treptat, asupra întregii suprafețe de contact, aducînd-o la temperatura necesară sudării.

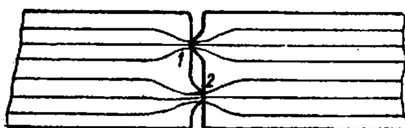


Fig. 24-1: Trecerea curentului prin locul de contact dintre două piese.

După metoda folosită procedeele de sudare prin rezistență se clasifică în:

— sudare în stare solidă;

— sudare prin topire intermediară și

—sudare prin energie înmagazinată; după modul de îmbinare a pieselor sudate, se deosebesc: sudare prin puncte (fig. 24—2, *a*), sudare prin cusătură (fig. 24 — 2,*b*) și sudare cap la cap (fig. 24—2,*c*).

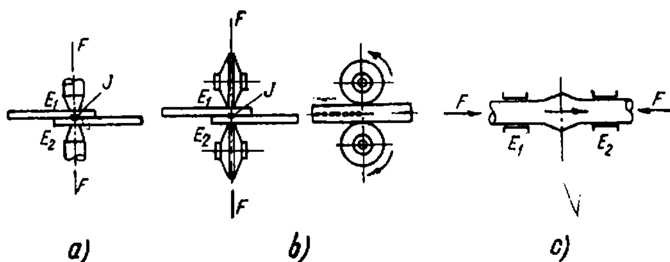


Fig. 24-2. Tipuri de sudură prin rezistență de contact: *a* — sudură prin puncte; *b* — sudură prin cusătură; *c* — sudură cap la cap.

Sudarea în stare solidă constă în trecerea curentului prin piesele de sudat apăsate continuu cu o forță exterioară; sub efectul trecerii curentului, suprafețele în contact se încălzesc la o temperatură înaltă, iar sub influența compresiunii, se produce refularea materialului și deci sudarea. Dezavantajul acestui procedeu constă în faptul că impuritățile de pe suprafețe și oxizii care se formează în cursul încălzirii rămîn incluși în sudură.

Sudarea cap la cap, în stare solidă, se aplică puțin în practică, și anume pentru îmbinarea unor bare sau tuburi de diametru mic (15—20 mm), precum și a zalelor de lanț.

Sudarea prin topire intermediară diferă de metoda precedentă prin faptul că are trei etape distincte: preîncălzirea, topirea şi refularea materialului. În timpul operaţiei de sudare prin topire intermediară, piesele se aduc în contact şi se menţin sub curent pînă cînd în locul de contact apare o punte de metal topit; apoi se apasă puternic piesele, producîndu-se refularea metalului topit şi sudarea pieselor. La acest procedeu este exclusă posibilitatea vreunei oxidări. După ploaia de scîntei, care se formează la sudare, procedeul se mai numeşte şi sudare electrică prin scîntei.

Sudarea prin topire intermediară are aplicaţii numeroase, datorită uşurinţei de execuţie şi a rezistenţei mecanice mari care se poate obţine la îmbinările sudate folosind acest procedeu. Astfel, se sudează: caroseriile autovehiculelor, şinele de tramvai şi de cale ferată, ţevile generatoarelor de abur ş.a.

Sudarea prin înmagazinare de energie electrică. Energia electrică necesară sudării este înmagazinată de obicei într-o baterie de condensatoare. Piesele de sudat se aduc în contact printr-o ciocnire violentă şi atunci energia înmagazinată în condensator se eliberează sub forma unui curent de descărcare. Căldura care se dezvoltă de către acest curent în locul atingerii pieselor produce sudarea într-un timp foarte scurt, de ordinul de mărime al unor sutimi, sau zecimi de secundă.

Sudarea prin înmagazinare de energie se foloseşte numai la sîrme şi la plăci subţiri.

Metalele şi aliajele care se pretează la sudarea electrică prin rezistenţă de contact sînt: fierul, nichelul, cuprul, aluminiul precum şi aliajele lor.

Pentru sudarea electrică prin rezistenţă de contact se foloseşte exclusiv curentul alternativ. Tensiunea necesară sudurii (în secundarul transformatoarelor speciale de sudură) este de 2—10 V, iar puterea nominală, de 25—175 kVA (mai rar, 250 şi chiar 350 kVA). La sudarea prin înmagazinare de energie, tensiunea alternativă este redresată cu ajutorul unor redresoare cu vapori de mercur şi apoi este aplicată unui condensator. Tensiunea la condensator atinge 3 000—4 000 V, iar capacitatea este de 3 000—4 000 F. În condensator se poate înmagazina o energie suficientă pentru sudarea unor table de aliaj uşor de 2—2,5 mm grosime.

Sudarea prin puncte. Acest procedeu se aplică în special la îmbinarea prin suprapunere a tablelor metalice şi se aseamănă întrucîtva nituirii. Tablele care urmează să fie sudate *A* şi *B* sînt suprapuse şi strînse între electrozii *C* şi *D* de cupru dur,

racordați la secundarul 2 unui transformator (fig. 24—3), asupra lor aplicîndu-se o forță de compresiune F suficientă pentru a realiza un contact bun al tablelor. Cînd se închide circuitul primar 1 al transformatorului, prin secundarul său trece un curent care produce căldură în rezistența circuitului exterior al secundarului. Temperatura între electrozi și table se ridică relativ puțin, deoarece căldura este evacuată prin metalul bun conducător de căldură al electrozilor și prin apa de răcire care circulă

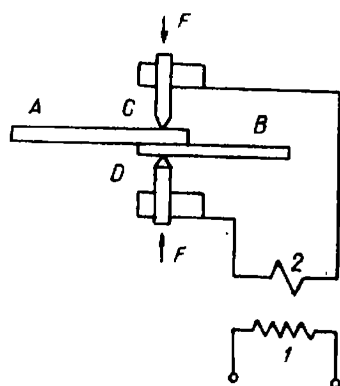


Fig. 24-3. Schema dispozitivului de sudare prin puncte.

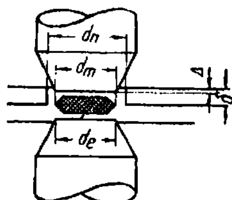


Fig. 24-4. Nucleul topit la sudarea prin puncte.

prin aceștia; la locul de contact dintre cele două table, căldura dezvoltată pentru trecerea curentului, rămînînd practic localizată într-un spațiu restrîns, se atinge temperatura de topire. Sudarea se produce sub efectul forței de compresiune, aplicată după ce s-a format nucleul topit.

Sudura se consideră bună dacă diametrul d_m al cercului în interiorul căruia materialul s-a topit este aproape egal cu diametrul d_e al electrodului, care trebuie să aibă o valoare $d_e = 2\delta + 3$ mm, δ fiind grosimea, în mm, a tablei mai subțiri (fig. 24—4). Sub acțiunea forței de compresiune, electrozii produc în table imprimări de adîncimea $\Delta = (0,1...0,2)\ \delta$. La dimensionarea electrozilor trebuie ținut seama de faptul că o parte a curentului trece prin punctele sudate în prealabil, care sînt legate în paralel cu punctul care se află în curs de sudare.

Reglarea procesului de sudare se face, la mașinile cele mai simple, după aprecierea operatorului, iar la producția în serie, în mod automat, deoarece prin aceasta se obțin o producție mărită și o calitate uniformă a sudurii. La sudarea automată, curentul trebuie întrerupt imediat ce sudura a fost terminată,

însă mai înainte ca punctul de sudură să se fi lățit sub influența compresiunii. Drept criteriu pentru întreruperea automată a curentului servește fie timpul (menținîndu-se pentru toate punctele un timp constant), fie timpul și curentul, atunci cînd tensiunea rețelei variază în limite largi (t = const, I = const), fie energia consumată, fie temperatura atinsă la locul de sudură, ultimul criteriu fiind cel mai rațional, dar și cel mai dificil de realizat practic.

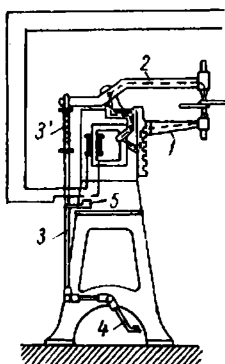


Fig. 24-5. Aparat de sudare prin puncte.

În figura 24 — 5 este reprezentat un aparat neautomat de sudare prin puncte. Aparatul are brațul de jos *1* fix, iar cel de sus *2* mobil și apăsat pe piesa de sudat de către tija *3*, printr-un arc *3'*, atunci cînd se apasă pe pedala *4*. Datorită ridicării tijei *3*, arcul *3'* se comprimă și se realizează presiunea necesară între cele două piese de sudat după care se închide contactul *5* din primarul transformatorului. După terminarea sudării, se eliberează pedala și prin aceasta se întrerupe întîi curentul și apoi încetează acțiunea forței de compresiune. Dacă nu s-ar proceda astfel, arcul care ar apărea la îndepărtarea

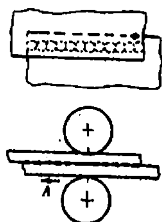


Fig. 24-6. Sudură prin cusătură, obținută prin mai multe puncte de sudură înșiruite.

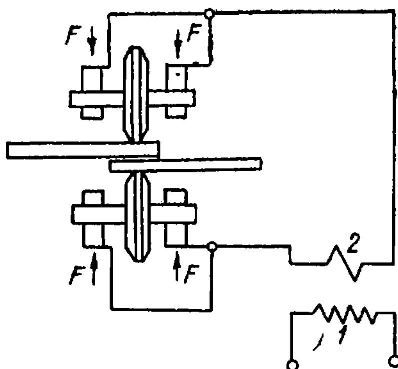


Fig. 24-7. Schema dispozitivului de sudare prin cusătură.

electrozilor ar putea distruge piesele sudate. Valoarea curentului şi durata sa, precum şi forţa de apăsare a electrozilor depind de grosimea tablelor de sudat şi de materialul de sudat.

Sudarea prin cusătură. Această sudare se utilizează pentru îmbinarea, în lungul unor muchii, a pieselor confecţionate din tablă şi este în realitate o sudare prin puncte, atît de apropiate între ele, încît se suprapun parţial (fig. 24—6).

Aparatul de sudat prin cusătură poate fi acelaşi aparat din figura 24—5, însă înzestrat cu un dispozitiv (fig. 24—7) compus din doi electrozi în formă de discuri, aşezaţi în acelaşi plan şi care strîng puternic tablele între ele. Electrozii sînt conectaţi la secundarul transformatorului de sudură. Prin deplasarea tablelor cu o viteză v (m/min), discurile-electrozi se rostogolesc şi asigură o sudare prin puncte care se succed la distanţa d:

$$d = 8{,}33 \frac{v}{f} \text{ (mm)},$$

f fiind frecvenţa curentului alternativ.

La unele aparate de sudare prin cusătură, discurile se învîrtesc intermitent, curentul trecînd numai în timpul cît discurile sînt oprite.

Dimensiunile discurilor-electrozi, forţa de apăsare, valoarea curentului, duratele impulsurilor, ale pauzelor şi viteza de înaintare sînt parametri care depind de grosimea tablelor de sudat şi de felul materialului.

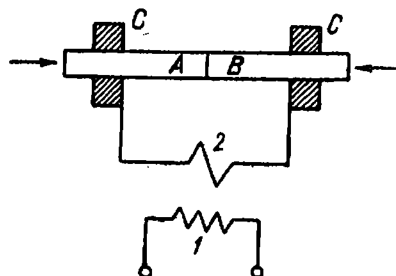


Fig. 24-8. Schema dispozitivului de sudare cap la cap.

Sudarea cap la cap este folosită pentru sudarea pieselor în formă de bară sau de ţevi şi a şinelor de cale ferată şi de tramvaie.

În figura 24—8 este reprezentat schematic dispozitivul de sudare cap la cap; barele de sudat A şi B sînt fixate în clemele C conectate la înfăşurările secundare ale transformatorului de sudură şi sînt supuse unor forţe de compresiune F. Densitatea curentului care trece prin secţiunea de sudat este de 1 800—2 500 A/cm².

3. Sudarea prin arc electric

Sudarea prin arc electric se realizează datorită temperaturii mari dezvoltate de arcul electric care poate topi extremitățile electrozilor între care se produce, electrozii putînd fi chiar capetele pieselor care trebuie îmbinate sau un metal de adaos care mijlocește sudarea. Se creează astfel o cantitate de metal topit în zona marginală a pieselor de sudat, ceea ce permite atomilor să intre în sfere de atracție reciprocă și să se încadreze într-o rețea cristalină comună.

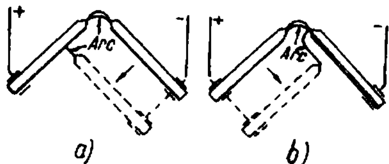


Fig. 24-9. Poziția neschimbată a piciorului arcului electric: *a* — formarea arcului la deplasarea catodului; *b* — formarea arcului la deplasarea anodului.

La producerea arcului electric pot servi atît curentul continuu cît și cel alternativ. În curent continuu, existența arcului este strîns legată de catod; la o deplasare a electrozilor, piciorul arcului rămîne pe loc (fig. 24—9). În curent alternativ, cei doi electrozi schimbă între ei rolurile de catod și anod la fiecare jumătate de perioadă, astfel încît deplasarea electrozilor nu mai este însoțită de fenomenul arătat în figura 24—9.

Caracteristica arcului electric, $U = f(I)$ este reprezentată în figura 24—10. Se observă că pentru apariția arcului este

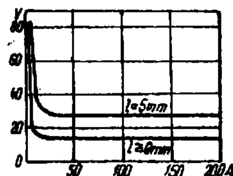


Fig. 24-10. Caracteristica unui arc electric de c.c.

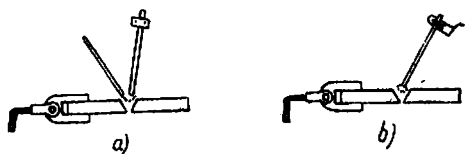


Fig. 24-11. Schemele principalelor procedee de sudare cu arc electric *a* — procedeu Benardos; *b* — procedeu Slavianov.

necesară o tensiune de aprindere de circa 60—80 V dar, o dată aprins, arcul funcționează sub o tensiune aproape constantă, de 15—25 V, a cărei valoare depinde doar de lungimea arcului și de natura electrozilor.

Temperatura piciorului arcului este de 2 500—4 000°C la electrozi şi de 6 000—7 000°C în centrul coloanei arcului, depinzînd de electrozi şi de densitatea de curent în electrozi (circa 7 000 A/mm^2).

Principalele procedee de sudare sînt cele reprezentate în figura 24—11.

Sudarea cu electrod de cărbune (*Benardos*) (fig. 24—11, *a*) a fost inventată de tehnicianul rus N. Benardos, în 1881. Potrivit acestui procedeu, obiectul de sudat se leagă la polul pozitiv al unei surse de curent continuu, iar electrodul (de cărbune), la polul negativ al sursei (deoarece piciorul arcului este la catod) (fig. 24—9). Prin trecerea curentului între metal şi electrodul de cărbune, în locul unde se execută sudarea, apare un arc care topeşte porţiunile respective ale pieselor care trebuie sudate. Cînd piesele de sudat depăşesc o anumită grosime sau cînd sudura trebuie încărcată cu material, se adaugă pe locul sudurii un supliment de metal, topindu-se în arcul electric o bară subţire metalică, din acelaşi material ca şi piesa sudată (fig. 24—11,*a*). Procedeul de sudare Benardos se efectuează numai în curent continuu. Pentru reducerea cantităţii de carbon care se introduce în metalul topit pe locul sudurii şi care alternează calităţile acesteia, electrozii de cărbune au fost înlocuiţi prin electrozi de grafit.

Procedeul de sudare cu electrod de metal (*Slavianov*) a fost elaborat între 1888 şi 1890 şi descris în anul 1892 la Petersburg de metalurgistul rus B. Slavianov. Acesta a introdus, în locul electrodului de cărbune sau de grafit, un electrod metalic, confecţionat din acelaşi material ca şi piesele de sudat, servind deci atît la întreţinerea arcului, cît şi la furnizarea suplimentului de material topit necesar la completarea cusăturii sau la încărcarea piesei cu metal (fig. 24—11,*b*). În acest fel dispare principalul inconvenient al procedeului Benardos, acela al carburării metalului pe locul sudurii.

În prezent, procedeul Slavianov este cel mai răspîndit sistem de sudare prin arc, prezentînd avantajul că este simplu şi poate fi folosit atît în curent continuu, cît şi în curent alternativ.

Sursele de curent pentru sudarea cu arc sînt fie de curent continuu (generatoare de sudură), fie de curent alternativ (transformatoare de sudură), de o construcţie specială, care le permite să suporte cu uşurinţă scurtcircuitele care intervin frecvent la atingerile electrodului de piesa sudată. Aceste surse trebuie să producă o tensiune de mers în gol de 35—75 V, necesară pentru aprinderea arcului şi un curent reglabil de 50—500 A, pentru sudare.

Operaţia de sudare se face punînd în contact, pentru un timp scurt, electrodul cu piesa de sudat, după care electrodul este îndepărtat (apare arcul electric) şi este menţinut la o distanţă de 3—10 mm atît timp cît durează sudarea, într-o poziţie aflată în planul bisector al planelor pieselor de sudat şi puţin înclinat în sensul înaintării sudării.

În timpul sudării, sudorul trebuie să fie protejat contra scînteilor care sar în jur şi contra razelor de tot felul care sînt emise de arc.

Cablul de sudură, monofilar, este de obicei un cablu izolat în cauciuc, flexibil, protejat contra loviturilor, de 5—10 m lungime.

Electrozii folosiţi în sudarea electrică cu arc sînt sîrme de oţel sau de alt metal, de secţiune rotundă şi acoperiţi cu un înveliş format din anumite substanţe, care au un triplu scop:

— de a mări stabilitatea arcului electric;

— de a forma în jurul arcului şi al metalului topit un strat protector, compus din gaze şi din zgură, în scopul de a feri metalul de oxidare şi de combinare cu azotul din aerul înconjurător şi de a încetini răcirea sudurii;

— de a introduce în metal componente de aliaj în scopul îmbunătăţirii proprietăţilor mecanice ale sudurii.

Capitolul XXV

Acționarea electrică a utilajelor industriale

1. Principiile generale ale acționării electrice

Procesele tehnologice industriale fac necesară funcționarea a diverse feluri de utilaje, de exemplu mașini-unelte, mașini de ridicat și transportat, pompe, compresoare, ventilatoare, precum și utilajele specifice diferitelor industrii, ca: industria siderurgică, metalurgică, chimică, petroliferă, extractivă, textilă, de construcții, alimentară etc. Pentru ca un utilaj să funcționeze, trebuie să consume o anumită energie mecanică. Această energie îi este dată de unul sau de mai multe motoare, care împreună cu accesoriile și anexele necesare funcționării formează dispozitivul de acționare a utilajului sau pe scurt acționarea utilajului. Dacă motorul este electric, acționarea se numește electrică. Motorul electric constituie partea cea mai importantă a acționării electrice. În afară de motor, acționarea electrică cuprinde aparatajul electric necesar, precum și conductoarele de legătură.

Cea mai importantă condiție care se pune acționării electrice este să realizeze o productivitate maximă a utilajului respectiv. Pentru aceasta, trebuie ca acționarea să fie studiată în special în raport cu reglarea turației motorului și cu regimul său de lucru. Cunoașterea fenomenelor tranzitorii (porniri, opriri, frînări) la care va trebui să facă față motorul are de asemenea un rol important în aprecierea calității unei acționări.

Acționarea electrică s-a făcut la început astfel, încît un singur motor electric să pună în funcțiune toate utilajele situate la diferitele etaje ale clădirii unei fabrici. Această acționare generală necesită o serie întreagă de transmisii mecanice pe etaje și între etaje. Transmisiile micșorau mult randamentul acționării, erau voluminoase, costisitoare și constituiau o sursă de accidente posibile.

S-a trecut apoi la acţionarea *pe grup*, cînd, de exemplu, toate utilajele unui etaj erau acţionate de un singur motor electric, ceea ce constituie o îmbunătăţire faţă de acţionarea generală.

În sfîrşit, s-a trecut la acţionarea *individuală* a utilajelor, cînd fiecare utilaj îşi are propriul său motor electric de acţionare. Faţă de sistemele care comportă şi transmisii mecanice, acţionarea electrică individuală prezintă avantajul că echipamentul său se poate monta complet în gabaritul propriu-zis al utilajului, conducînd în acest fel la forme compacte şi simple. Acţionarea electrică individuală elimină mersul în gol al diferitelor transmisii mecanice, evitînd astfel pierderile de energie respective.

Faţă de acţionarea electrică individuală, s-a realizat încă un progres prin acţionarea *multiplă*, cînd acelaşi utilaj este acţionat de mai multe motoare electrice, de exemplu o maşină de frezat poate avea un motor electric pentru acţionarea mişcării principale şi un alt motor electric pentru acţionarea avansului.

2. Alegerea motoarelor electrice în raport cu regimul de lucru

a. Regimuri nominale de lucru

Prin regim nominal de lucru al unui motor electric, se înţelege regimul de lucru pentru care motorul a fost proiectat şi construit. Regimul nominal de lucru se caracterizează prin valorile specificate pe plăcuţa indicatoare a maşinii. Aceste valori se referă la: putere, tensiune, curent principal, factor de putere, turaţie, frecvenţă, curent de excitaţie. Pentru motoarele electrice sînt stabilite trei regimuri nominale de lucru, şi anume:

— regim de durată;
— regim de scurtă durată;
— regim intermitent.

Fiecare regim este caracterizat printr-o anumită încălzire a motorului electric. Această încălzire este provocată de pierderile care se produc în motor, prin efectul Joule-Lenz, histeresis, curenţi turbionari şi frecări.

Regimul de lucru al motorului electric se numeşte *de durată*, dacă perioada *activă* (de funcţionare) este atît de îndelungată,

încît toate organele motorului ating temperaturi practic stabile.

În cazul regimului de lucru de durată, dacă motorul este încărcat cu puterea P un interval de timp t suficient de mare, supratemperatura (temperatura bobinajelor și a oțelului mașinii deasupra mediului ambiant) sau încălzirea θ a unui organ oarecare tinde să se stabilizeze (rămîne constantă) la o anumită valoare θ_f (fig. 25—1,*a*). Se numește regim *nominal* de durată acel regim în care motorul poate funcționa timp nelimitat, fără ca încălzirea organelor sale să depășească limitele admise, apropiindu-se însă cît mai mult de aceste limite.

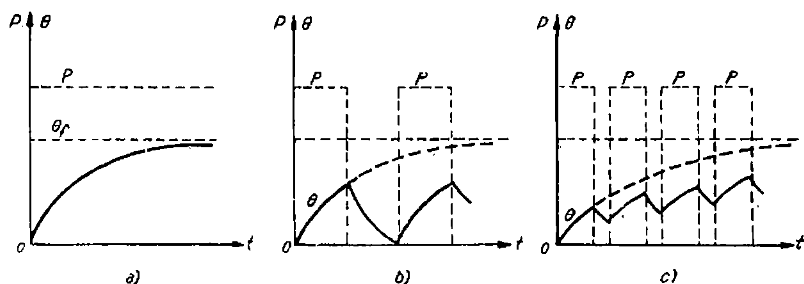


Fig. 25-1. Regimuri de lucru:
— regim de durată; *b* — regim de scurtă durată; *c* — regim intermitent.

Regimul de lucru se numește *de scurtă durată*, dacă perioada activă nu este suficient de îndelungată pentru ca diferitele părți ale motorului să atingă temperaturi practic stabile, iar perioada de pauză este suficient de mare, pentru ca motorul să revină la temperatura mediului ambiant. În acest caz supratemperatura θ a unui organ oarecare crește în perioada activă de la zero pînă la o anumită valoare și scade în timpul pauzei pînă la zero (fig. 25—1,*b*). Se numește regim *nominal* de lucru de scurtă durată, acel regim de scurtă durată în care motorul poate lucra în decursul timpului arătat pe plăcuța indicatoare fără ca încălzirea organelor sale să depășească limitele admisibile, apropiindu-se însă cît mai mult de aceste limite. Sînt stabilite următoarele durate standardizate pentru perioadele active ale regimului de scurtă durată: 15, 30 și 60 minute.

Regimul de lucru se numește *intermitent*, dacă perioadele active, în timpul cărora organele motorului nu ating temperaturi practic stabile, alternează cu perioade scurte de pauză, în timpul cărora motorul nu ajunge la temperatura mediului ambiant (fig. 25—1,*c*). Regimul intermitent se caracterizează prin rapor-

tul dintre durata intervalului activ și durata *ciclului de funcționare*, care este constituit din durata intervalului activ și durata pauzei. Acest raport se notează cu D_A și se numește *durată activă relativă*, dîndu-se de obicei în procente. Se numește regim *nominal* de lucru intermitent, acel regim intermitent în care motorul poate să lucreze timp nelimitat corespunzător raportului D_A arătat pe plăcuța indicatoare, fără ca încălzirea diferitelor lui organe să depășească limitele admisibile, apropiindu-se însă cît mai mult de aceste limite. Pentru raportul D_A sînt stabilite următoarele valori standardizate: 15%, 25% și 40%. Durata unui ciclu nu trebuie să depășească 10 minute.

Regimul de durată se întîlnește de obicei la utilajele grele cu funcționare practic continuă. Regimul de scurtă durată se întîlnește, de exemplu, la acționarea plăcilor turnante de cale ferată, la acționările auxiliare ale mașinilor-unelte (deplasarea păpușilor, acționarea dispozitivelor de fixare) ș.a. Regimul intermitent este caracteristic pentru acționarea principală a celor mai multe mașini-unelte.

Regimurile reale de lucru ale utilajelor pot să nu corespundă riguros unui regim tip, dintre cele menționate. Totuși, un regim real poate fi echivalent din punctul de vedere al încălzirii cu unul dintre cele trei regimuri tip.

La alegerea motorului electric destinat să acționeze un anumit utilaj, trebuie să se țină seama de regimul lui de lucru. De obicei, fabricația curentă a motoarelor electrice corespunde unei standardizări după regimul nominal de durată. Asemenea motoare pot fi alese nu numai în cazul unui regim de lucru de durată, dar și în cazul regimurilor de lucru intermitent și de scurtă durată, după cum se arată mai departe.

Unele fabrici construiesc însă și tipuri speciale de motoare electrice, standardizate pentru un regim nominal intermitent sau de scurtă durată; alegerea unor astfel de motoare în cazurile respective duce la o utilizare mai economică a lor.

b. Alegerea motorului în cazul regimului de durată

Dacă puterea P cerută de utilaj este constantă, se alege un motor standardizat pentru regimul de durată, cu o putere nominală P_n cel puțin egală cu P și cît mai apropiată de această valoare.

Dacă puterea de durată cerută de utilaj este variabilă, trebuie să se calculeze în prealabil *o putere de durată, echivalentă*

din punctul de vedere al încălzirii cu puterea reală variabilă. Pentru a se determina puterea echivalentă necesară, se alege la început în mod arbitrar din catalog un motor cu o putere nominală de durată P_n. Se calculează apoi expresia:

$$p_e = \frac{p_1 \cdot t_1 + p_2 \cdot t_2 + p_3 \cdot t_3 + \dots}{t_1 + t_2 + t_3 +} , \qquad (25.1)$$

unde p_1, p_2, p_3,... sînt *pierderile de putere* (datorite randamentului) ale motorului ales, pentru diversele sarcini la care va trebui să facă față în intervalele de timp t_1, t_2, t_3,... care constituie ciclul real de lucru. Pierderile p_1, p_2, p_3,... la diverse sarcini se cunosc din datele constructive ale motorului. Expresia p_e poartă numele de expresia *pierderilor echivalente*. Se compară p_e cu pierderile de putere p_n ale motorului ales, la sarcina nominală P_n. Expresia p_n trebuie să fie cel puțin egală cu p_e și cît mai apropiată de această valoare. În caz contrar, se alege un alt motor din catalog, pînă cînd se obține un rezultat satisfăcător. Metoda aceasta de calcul se numește *metoda pierderilor echivalente*. Pierderile de putere ale unui motor electric pot fi determinate, dacă se cunoaște curba care arată cum variază randamentul motorului în funcție de puterea dată la arbore. Dacă, de exemplu, pentru puterea la arbore P, randamentul motorului este η, pierderile p ale motorului la această putere rezultă din relația:

$$p = \frac{P}{\eta} - P.$$

Aplicația 25-1. Un utilaj cere în timpul ciclului de lucru care se repetă indefinit, o putere de 5,5 kW timp de 4 s, 5 kW timp de 15 s și 3 kW timp de 5 s. Să se verifice dacă pentru acest utilaj este indicat un motor electric cu următoarele caracteristici:

Puterea nominală de durată $P_n = 4{,}5$ kW.
Pierderile de putere la sarcina nominală $p_n = 1{,}05$ kW.
Pierderile de putere la sarcina de 5,5 kW ... $p_1 = 1{,}29$ kW.
Pierderile de putere la sarcina de 5 kW ... $p_2 = 1{,}10$ kW.
Pierderile de putere la sarcina de 3 kW ... $p_3 = 0{,}66$ kW.

Rezolvare. Făcînd calculele se găsește expresia pierderilor echivalente de putere:

$$p_e = \frac{p_1 \cdot t_1 + p_2 \cdot t_2 + p_3 \cdot t_3}{t_1 + t_2 + t_3} = \frac{1{,}29 \cdot 4 + 1{,}10 \cdot 15 + 0{,}66 \cdot 5}{4 + 15 + 5} = 1{,}04 \text{ kW}.$$

Deoarece expresia $p_n = 1{,}05$ kW este mai mare decît $p_e = 1{,}04$ kW și foarte apropiată de p_e, rezultă că motorul electric este bine ales.

c. Alegerea motorului în cazul regimului intermitent

Alegerea motorului se poate face tot cu ajutorul metodei pierderilor echivalente, după cum s-a arătat mai înainte. Se alege în mod arbitrar un motor din catalogul cu motoare standardizate după regimul nominal de durată. Pentru acest motor se cunosc pierderile la diverse sarcini. Se calculează apoi cu relația (25.1) pierderile echivalente p_e și se verifică dacă pierderile p_n la sarcina nominală ale motorului ales sînt cel puțin egale cu p_e și cît mai apropiate de p_e. În caz contrar, se alege un alt motor din catalog, pînă cînd se capătă un rezultat satisfăcător.

d. Alegerea motorului în cazul regimului de scurtă durată

În practică, se alege un motor normalizat după regimul nominal de durată, ținîndu-se însă seamă de suprasarcina pe care o poate suporta și care corespunde coeficientului de suprasarcină indicat prin datele constructive ale motorului pentru un interval de timp egal cu durata activă a ciclului de lucru. Dacă puterea care se cere la arborele motorului în perioada activă este P, se alege un motor standardizat după regimul nominal de durată cu o putere nominală cel puțin egală cu:

$$\frac{P}{k}$$

și cît mai aproape de această valoare, unde k este coeficientul de suprasarcină menționat mai înainte.

Deoarece aceste motoare pornesc de obicei cu o sarcină însemnată față de sarcina lor nominală, verificarea cuplului de pornire are o deosebită importanță.

Aplicația 25-2. Să se aleagă un motor destinat să funcționeze în regim de scurtă durată pentru a deplasa cu viteza $v = 12$ m/min, căruciorul cu o greutate $G = 650$ kgf al unui strung. Coeficientul dinamic de frecare al ghidajelor este $C_d = 0{,}12$, iar randamentul transmisiei $r = 0{,}11$.

R e z o l v a r e. Considerînd pentru motoarele din catalog un coeficient de suprasarcină $k = 1{,}5$, puterea nominală de durată a motorului trebuie să fie:

$$P_n = \frac{G \cdot v}{6\ 120} \frac{C_d}{r \cdot k} = \frac{650 \cdot 12 \cdot 0{,}12}{6 \cdot 120 \cdot 0{,}11 \cdot 1{,}5} = 0{,}93 \text{ kW}.$$

Se alege un motor standardizat pentru regimul nominal de durată cu o putere $P_n = 1$ kW și o turație nominală $n = 1\ 450$ rot/min. Se presupune că cuplul de pornire al motorului ales este:

$$M_p = 1{,}6\ M_n$$

în care M_n este cuplul nominal. Rezultă:

$$M_p = 1,6\, M_n = 1,6 \frac{975\, P_n}{n} = 1,6 \frac{975 \cdot 1}{1\,450} = 1,08 \text{ kgf} \cdot \text{m}.$$

Acest cuplu trebuie comparat cu cuplul rezistent la pornire. Se presupune că la pornire coeficientul de frecare static este $C_s = 1,8\, C_d$. Cuplul rezistent la pornire este:

$$M_r = \frac{975 \cdot G \cdot v \cdot C_s}{6\,120\, r \cdot k \cdot n} = \frac{975 \cdot 650 \cdot 12 \cdot 1,8 \cdot 0,12}{6\,120 \cdot 0,11 \cdot 1,5 \cdot 1\,450} = 1,12 \text{ kgf} \cdot \text{m}.$$

Deoarece $M_p < M_r$, trebuie să se aleagă un motor mai puternic standardizat după regimul nominal de durată. Se presupune că motorul de putere imediat superioară are puterea nominală $P'_n = 1,7$ kW la turația $n = 1\,450$ rot/min. În acest caz, cuplul său de pornire este:

$$M'_p = 1,6 \frac{975\,.\,1,7}{1.450} = 1,83 \text{ kgf . m}.$$

Deoarece $M'_p > M_r$, înseamnă că al doilea motor este bine ales.

3. Echipamente și scheme electrice de acționare

a. Intocmirea schemelor electrice

Echipamentul unei acționări electrice rezultă din schema sa. Cele mai utilizate scheme pentru acționări electrice sînt schemele numite *desfășurate*, care reprezintă toate aparatele și mașinile electrice împreună cu conexiunile dintre ele, astfel încît funcționarea și legăturile electrice să fie ușor de înțeles. În acest scop se utilizează o serie de simboluri, dintre care cele mai uzuale sînt date în tabela 25—1.

Diversele aparate și, în special, contactoarele și releele sînt desenate descompuse în elementele lor principale, bobine și contacte. Aceste elemente nu sînt grupate pe schemă la un loc (așa cum sînt situate în aparatele respective); fiecare element se găsește în circuitul din care trebuie să facă parte, deși aceste circuite sînt situate în schemă, pentru claritate, la anumite distanțe unele de altele. Spre a se putea ușor identifica elementele aceluiași aparat, se utilizează o notație corespunzătoare. De multe ori se notează bobinele diferitelor contactoare cu 1*C*, 2*C*, 3*C* ... iar bobinele diferitelor relee cu 1*R*, 2*R*, 3*R* ... Contactele bobinei 2*C*, de exemplu, se notează 2*C*1, 2*C*2 iar contactele

Simboluri folosite la întocmirea schemelor desfășurate

Nr. crt.	Simbolul	Semnificația simbolului
1		Conductor în circuitele principale de forță
2		Conductor în circuitele secundare de comandă și control
3		Bobină de contactor
4		Bobină de releu
5		Bobină de releu cu temporizare (întîrziere)
6		Contact normal deschis al unui aparat cu acțiune instantanee
7		Contact normal închis al unui aparat cu acțiune instantanee
8		Contact normal deschis al unui aparat, cu temporizare (întîrziere) la deschidere
9		Contact normal deschis al unui aparat, cu temporizare la închidere
10		Contact normal deschis al unui aparat, cu temporizare la deschidere și închidere
11		Contact normal închis al unui aparat, cu temporizare la deschidere
12		Contact normal închis al unui aparat, cu temporizare la închidere
13		Contact normal închis al unui aparat, cu temporizare la deschidere și închidere
14		Contact normal deschis al unui aparat fără revenire automată

Nr. crt.	Simbolul	Semnificația simbolului
15		Contact normal închis al unui aparat fără revenire automată
16		Element termic (bimetalic) al unui releu
17		Buton de comandă manuală, normal deschis cu revenire automată
18		Buton de comandă manuală, normal închis cu revenire automată
19		Contact normal deschis acționat mecanic (întreruptor de cale sau de sfîrșit de cursă)
20		Contact normal închis acționat mecanic
21		Contact normal deschis al unui controler
22		Contact normal închis al unui controler

bobinei $3R$, cu $3R1$, $3R2$ ... Uneori, pentru bobinele releelor și contactelor se utilizează încă o literă, caracterizînd felul de funcționare al releului. Bobina unui releu termic, de exemplu, se poate nota $1RT$, a unui releu de viteză $1RV$, a unui releu cu temporizare $1RC$ etc.

b. Exemplu referitor la acționarea electrică a unei mașini de honuit

În figura 25—2 se arată schema electrică desfășurată a acționării electrice pentru o mașină de honuit. Mașina este echipată cu trei motoare electrice, și anume:

— un motor asincron trifazat în scurtcircuit M_p de 10 kW, 380 V, 1 450 rot/min, care asigură mișcarea principală de rotație a honului;

— un motor asincron trifazat în scurtcircuit M_h de 4,5 kW, 380 V, 950 rot/min, pentru acționarea pompei sistemului hidraulic, care asigură mișcarea de du-te-vino în sens vertical a honului;

— un motor asincron trifazat în scurtcircuit M_r de 0,1 kW, 380 V, 2 800 rot/min, pentru acționarea pompei de răcire.

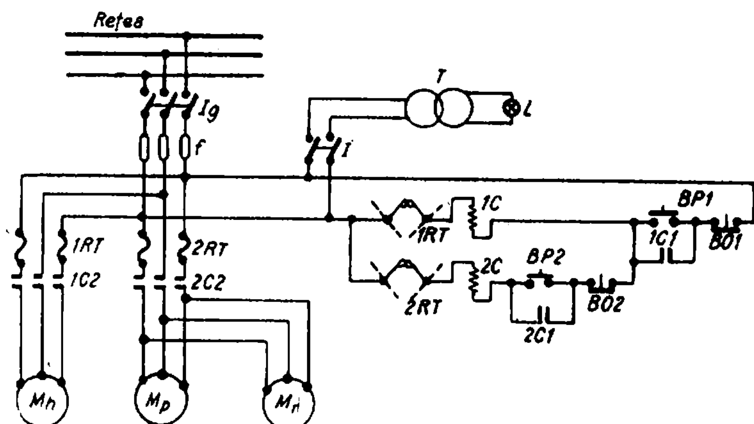


Fig. 25-2. Acționarea electrică a unei mașini de honuit.

Restul echipamentului rezultă din schema electrică. Protecția contra scurtcircuitelor se realizează prin siguranțe cu fuzibile f, iar contra suprasarcinilor de durată prin releele termice $1RT$ și $2RT$. Pentru pornire, după ce s-a închis întreruptorul general I_g, se apasă pe butonul de pornire normal deschis $BP1$ cu revenire automată în poziția deschis cînd nu mai este apăsat. Curentul electric trece prin bobina contactorului $1C$, ceea ce face să se închidă contactele sale normal deschise $1C1$ și $1C2$. Închiderea contactului $1C1$ permite trecerea curentului prin bobina contactorului $1C$ și după ce s-a ridicat mîna de pe butonul $BP1$. Închiderea contactelor $1C2$ pune în funcțiune motorul M_h, care acționează sistemul hidraulic.

Se apasă apoi pe butonul normal deschis $BP2$ cu revenire automată. Curentul electric trece prin bobina contactorului $2C$, care își închide contactele sale normal deschise $2C1$ și $2C2$. Închiderea contactului $2C1$ permite trecerea curentului prin bobina contactorului $2C$ și după ce s-a ridicat mîna de pe $BP2$,

iar închiderea contactelor $2C2$ pune în funcţiune motoarele electrice M_p şi M_r care acţionează axul principal şi pompa de răcire.

Dacă se apasă pe butonul de oprire normal închis $BO1$ cu revenire automată în poziţia închis, se întrerupe curentul în bobinele contactoarelor $1C$ şi $2C$, iar contactele lor $1C1$, $1C2$ respectiv $2C1$, $2C2$ se deschid, ceea ce opreşte toate motoarele.

Cînd toate motoarele sînt în funcţiune şi trebuie oprite numai motoarele M_p şi M_r, se apasă pe butonul de oprire normal închis $BO2$ cu revenire automată, ceea ce întrerupe curentul bobinei $2C$, astfel încît contactele $2C1$ şi $2C2$ se deschid, oprind cele două motoare.

Prin închiderea întreruptorului I şi prin intermediul transformatorului coborîtor T se aprinde lampa L de iluminat local. Elementele termice $1RT$ din circuitul de alimentare a motorului M_b, precum şi elementele termice $2RT$ din circuitul de alimentare a celor două motoare M_p şi M_r deschid, în caz de suprasarcină prelungită, contactele $1RT$ sau $2RT$ ale releelor respective. În felul acesta, se întrerupe curentul prin bobina $1C$ respectiv $2C$ şi se opresc motorul M_b sau motoarele M_p şi M_r.

Contactele releelor termice sînt fără revenire automată în poziţia închis. După ce s-a deschis unul din aceste contacte din cauza unei suprasarcini, închiderea trebuie realizată manual, ceea ce presupune că între timp s-a cercetat şi eliminat cauza care a produs suprasarcina.

Capitolul XXVI

Procedee electrotehnologice

1. Cuptoare electrice

a. Generalități

În cuptoarele electrice, energia electrică este transformată în energie termică. Relația de transformare între aceste două feluri de energie este:

$$1 \text{ kWh} = 860 \text{ kcal}.$$

Avantajele principale ale cuptoarelor electrice sînt: curățenie, simplitate, reglare continuă și precisă, posibilitatea de a obține temperaturi înalte ș.a.

Dezavantajele principale sînt datorite costului ridicat al energiei electrice și al instalației.

Clasificarea lor se poate face după modul în care se realizează transformarea energiei electrice în energie termică. Din acest punct de vedere, există cuptoare *cu rezistență* și cuptoare *cu arc*. În cuptoarele cu rezistență, curentul electric trecînd printr-un conductor de o anumită rezistență electrică produce căldură pe baza legii Lenz-Joule. În cuptoarele cu arc, căldura este produsă de arcul electric ce se obține între electrozii cu care este prevăzut cuptorul.

Cuptoarele electrice cu rezistență se împart în cuptoare *cu acțiune indirectă*, *cu acțiune directă* și *de inducție*. La cuptoarele cu acțiune indirectă, căldura se produce în elemente încălzitoare speciale (rezistoare) și se transmite materialului care trebuie încălzit, prin radiație și convecție. La cuptoarele cu acțiune directă, curentul electric luat de la rețea trece direct prin materialul care trebuie încălzit. La cuptoarele de inducție, materialul care trebuie încălzit este așezat într-un cîmp magnetic alternativ. În interiorul materialului apar curenți de inducție, care produc căldură pe baza legii Lenz-Joule. De multe ori, numai

primele două tipuri (cu acţiune directă şi indirectă) sînt denumite cu rezistenţă, ultimul tip fiind numit, pe scurt, de inducţie, deşi în realitate şi la cuptorul de inducţie căldura se datorează trecerii curentului de inducţie printr-un conductor (materialul de încălzit) cu o anumită rezistenţă electrică.

Cuptoarele electrice cu arc se împart în cuptoare cu acţiune directă şi cuptoare cu acţiune indirectă. La primele, arcul se produce între electrozi şi materialul ce trebuie încălzit, iar la ultimele, arcul se produce numai între electrozi, căldura transmiţîndu-se prin radiaţie şi convecţie materialului ce trebuie încălzit.

b. Cuptoare cu rezistenţă şi cu acţiune indirectă

Acestea se împart în două grupe: cu temperaturi joase, pînă la circa 700°C şi cu temperaturi înalte, pînă la circa 1 400°C. Cuptoarele cu rezistenţă şi acţiune indirectă se utilizează pentru tratamente termice, topirea în creuzete, încălzirea băilor cu săruri ş.a.

Figura 26—1 reprezintă schema constructivă a unui asemenea cuptor pentru temperaturi joase. În *1* sînt indicate elementele

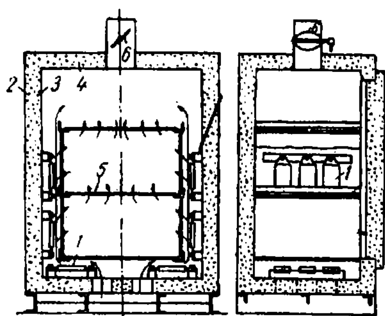


Fig. 26-1. Cuptor cu rezistenţă şi acţiune indirectă pentru temperaturi joase.

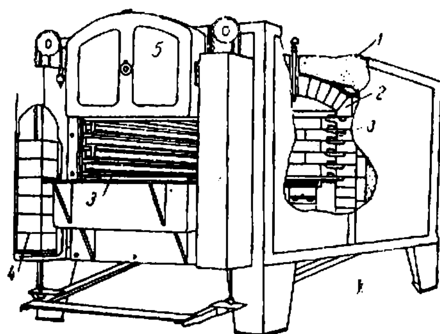


Fig. 26-2. Cuptor cu rezistenţă şi acţiune indirectă pentru temperaturi înalte.

încălzitoare (rezistoare), care sînt parcurse de curent electric. Între peretele exterior *2* şi peretele interior *3* se găseşte un material termoizolant *4*. Piesele care trebuie încălzite se aşază pe rafturile *5*. Săgeţile indică curenţii de aer din interiorul cuptorului,

care pot fi reglați cu clapeta specială *6*. Asemenea cuptoare se construiesc de obicei pentru temperaturi de 200—300°C.

În figura 26—2 se arată cel mai întrebuințat cuptor electric cu rezistență și acțiune indirectă pentru temperaturi înalte. Un asemenea cuptor este utilizat mai ales pentru tratamente termice la sculării. Camera internă are o formă paralelipipedică cu o înălțime de circa 400 mm și dimensiuni în plan de aproximativ 500 × 700 mm. Pentru temperaturi pînă la circa 1 000°C, rezistoarele *3* se execută din oțeluri aliate cu crom și nichel. Pentru temperaturi între 1 000°C și 1 350°C rezistoarele se execută din *silită* (carbură de siliciu). În exterior cuptorul este prevăzut cu izolarea termică *1*, căptușeala *2* fiind realizată din șamotă. Ușa *5* a cuptorului poate fi ridicată cu ajutorul contragreutății *4*.

c. Cuptoare cu rezistență și acțiune directă

La aceste cuptoare, curentul electric produs de secundarul unui transformator trece direct prin piesa ce trebuie încălzită. Acest sistem de încălzire este foarte economic, deoarece întreaga căldură produsă trece prin piesă. Totuși, metoda prezintă un mare neajuns tehnic: deoarece piesele care se încălzesc n-au de obicei o secțiune uniformă și o structură omogenă, nu se poate obține o încălzire corespunzătoare. Din această cauză, metoda este rar întrebuințată și numai pentru piesele la care se poate asigura o încălzire uniformă.

d. Cuptoare de inducție

Acestea se clasifică în *cuptoare cu frecvență normală* (50 Hz) și *cuptoare cu frecvență înaltă*, de la 200 pînă la 100 000 Hz. Cuptoarele de inducție se întrebuințează în special pentru topit metale. Cuptoarele de înaltă frecvență își găsesc utilizare și la călirea pieselor de oțel.

Principiul de funcționare al cuptorului de inducție cu frecvență normală este ilustrat în figura 26—3. În jurul unui miez de oțel se găsește o înfășurare prin care trece curent electric cu frecvență normală de 50 Hz. Această înfășurare constituie primarul unui transformator. Secundarul transformatorului este realizat chiar din materialul care trebuie topit, după cum se arată în figură: Curentul de inducție care trece prin secundar

încălzește materialul respectiv. Aceste cuptoare pot fi monofazate sau trifazate. În figura 26—4 se arată schema electrică a unui cuptor de inducție monofazat cu frecvență normală. Circuitul primar *1* cuprinde două înfășurări legate în paralel. Secundarul este constituit, după cum se știe, din materialul care trebuie încălzit. Se obișnuiește însă să se adauge încă un circuit secundar,

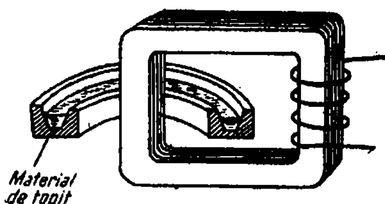


Fig. 26–3. Principiul cuptorului de inducție cu frecvență normală.

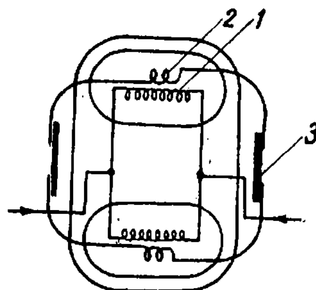
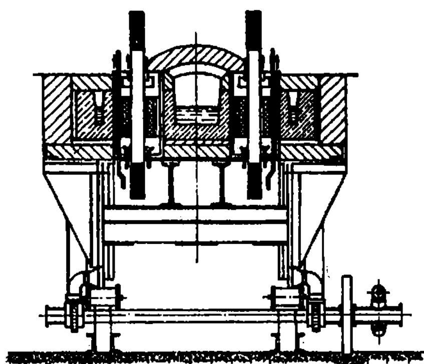


Fig. 26–4. Schema electrică a unui cuptor de inducție monofazat cu frecvență normală.



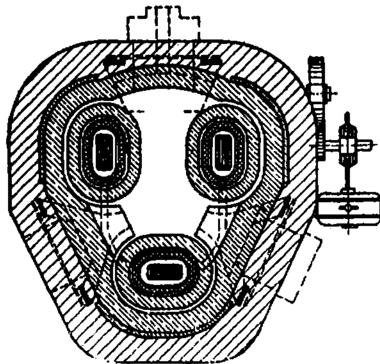


Fig. 26–5. Secțiuni printr-un cuptor de inducție trifazat cu frecvență normală.

realizat din înfășurările *2* și plăcile de cupru *3*. În timpul funcționării, plăcile de cupru, încălzindu-se, măresc cantitatea de căldură produsă.

Figura 26—5 reprezintă două secțiuni printr-un cuptor de inducție trifazat cu frecvență normală. Transformatorul unui asemenea cuptor are trei coloane de oțel. Principiul de funcționare este analog cu acela al cuptorului monofazat.

Cuptoarele de inducţie cu înaltă frecvenţă prezintă particularitatea că transformatorul respectiv nu are miez de oţel.

În figura 26—6 se reprezintă un asemenea cuptor. El cuprinde un creuzet *1* izolat termic ce conţine materialul de încălzit.

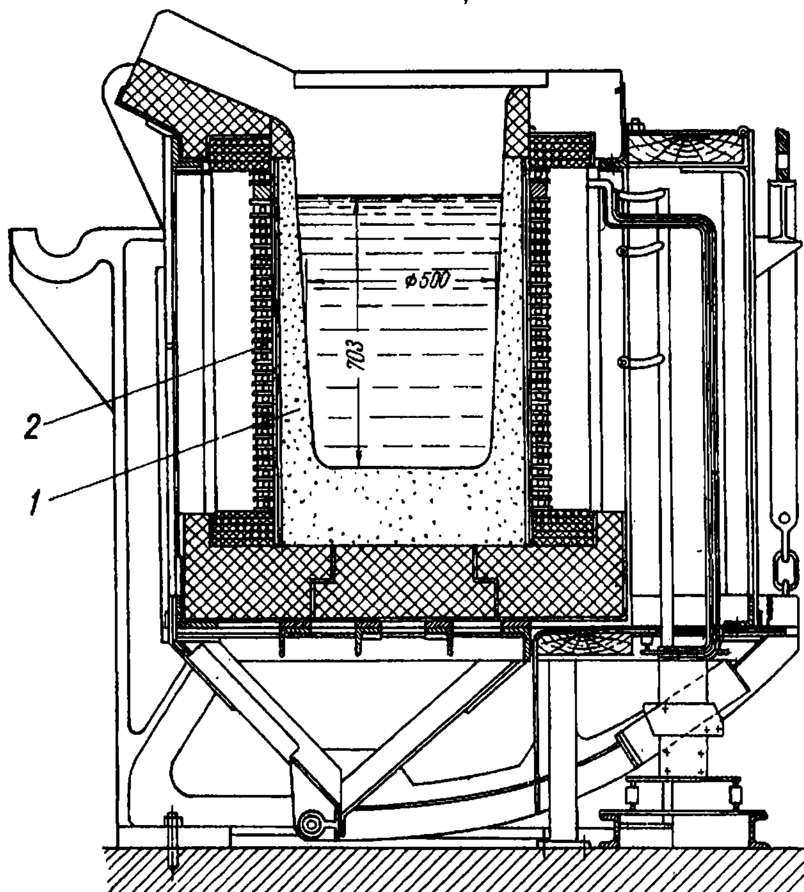


Fig. 26-6. Cuptor de inducţie cu înaltă frecvenţă.

Creuzetul se găseşte aşezat în interiorul unui solenoid *2* străbătut de curent electric de înaltă frecvenţă. Solenoidul se execută din ţeavă de cupru, prin care trece apă de răcire. Alimentarea cu energie electrică se face fie de la o maşină generatoare de înaltă frecvenţă, fie de la un dispozitiv cu tuburi electronice.

Pentru cuptoarele de topit cu puteri mici se folosesc de obicei frecvențe de 1 000—100 000 Hz, iar în cazul puterilor mari, frecvențe de 200—2 500 Hz.

Cuptoarele de înaltă frecvență pot servi și la călirea superficială a pieselor de oțel. Cu cît frecvența este mai înaltă, cu atît curentul se repartizează mai mult la periferia piesei. În felul acesta, piesa se încălzește numai pe o grosime mică, astfel încît nu se produc modificări structurale în interiorul piesei, ceea ce de multe ori are un rol foarte important în procesele tehnologice.

e. Cuptoare cu arc

Cuptoarele cu arc nu permit, în general, o reglare prea precisă a temperaturii, astfel încît nu pot fi utilizate la tratamente termice, ci aproape numai la topirea metalelor. Figura 26—7 reprezintă schema constructivă de principiu a unui cuptor trifazat cu arc și cu acțiune directă. Arcul se produce între cei trei electrozi verticali și metalul situat sub electrozi, care trebuie topit prin încălzire. Cuptoarele cu acțiune directă sînt de obicei trifazate și se realizează pentru puteri mari, de 10—15 mii kVA, servind la topirea metalelor greu fuzibile și, mai ales, la topirea oțelului.

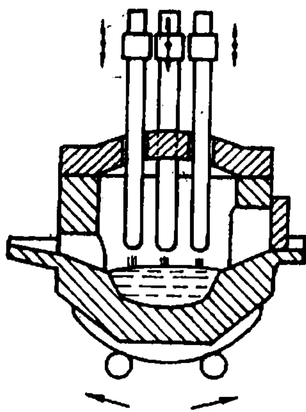


Fig. 26-7. Schema constructivă de principiu a unui cuptor trifazat cu arc și acțiune directă.

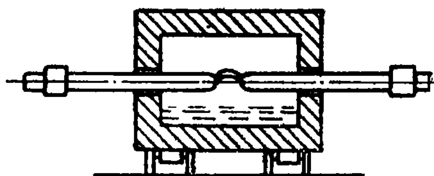


Fig. 26-8. Schema constructivă de principiu a unui cuptor monofazat cu arc și acțiune indirectă.

În figura 26—8 se arată schema constructivă de principiu a unui cuptor cu arc și acțiune indirectă. Arcul se formează între electrozii orizontali fără să atingă metalul de topit. Asemenea

cuptoare sînt de obicei de puteri mai mici (500 ... 600 kVA) şi produc temperaturi de 1 300 ... 1 400°C. Ele sînt monofazate şi se folosesc la topirea metalelor neferoase.

2. Procedee electrochimice

a. Generalităţi

Prin procedee electrochimice se înţeleg metode de utilizare în tehnică a unor fenomene electrochimice, adică fenomene în care intervin în mod esenţial atît energia electrică, cît şi cea chimică. În capitolul III s-a explicat fenomenul de electroliză, care este un proces electrochimic cu multe aplicaţii tehnice. De asemenea, s-au explicat fenomenele electrochimice pe baza cărora funcţionează acumulatoarele şi pilele electrice. În capitolul de faţă se vor arăta unele procedee electrochimice utilizate în tehnică la fabricarea unor elemente, rafinarea unor metale şi acoperirea cu metale a unor obiecte.

b. Fabricarea electrolitică a hidrogenului şi a oxigenului

În anul 1888, savantul rus profesorul *D.A. Lacinov* a construit primul aparat pentru fabricarea hidrogenului şi oxigenului prin electroliză. Procedeul este avantajos atunci cînd se dispune de energie electrică ieftină, de exemplu energie hidroelectrică.

Se ştie că o moleculă de apă conţine doi atomi de hidrogen şi unul de oxigen. Prin electrolizarea apei se obţin hidrogen şi oxigen. În practică nu se întrebuinţează însă apă pură, ci o soluţie de hidroxid de potasiu sau sodă caustică. Dacă electroliza are loc la temperaturi mai joase, este de preferat hidroxidul de potasiu, deoarece are o conductibilitate electrică mai bună. La temperaturi mari, provoacă însă o coroziune a aparaturii, astfel încît devine mai avantajoasă soda caustică. Baia electrolitică este de obicei o cutie de fier în care sînt cufundaţi electrozii tot din fier. Aceşti electrozi au diverse forme ca de exemplu foi perforate, jaluzele ş.a. Tensiunea dintre anod şi catod este de 2—3 V, iar intensitatea curentului poate ajunge pînă la circa 15 000 A. Hidrogenul se degajă în jurul electrodului negativ (catod), iar oxigenul, în jurul electrodului pozitiv (anod).

c. Fabricarea electrolitică a clorului

Primul brevet pentru fabricarea electrochimică a clorului a fost obținut în anul 1879 de către inventatorii ruși *N. Gluhov* și *F. Vașciuk*. Metoda de fabricare a clorului se bazează pe electrolizarea unor soluții apoase de clorură de sodiu (sau potasiu), conform cu relația chimică:



$$2\ NaCl + 2\ H_2O \rightarrow Cl_2 + 2\ NaOH + H_2.$$

Se vede că din clorura de sodiu cu apă se produc, în timpul electrolizei, clor, hidroxid de sodiu și hidrogen. La anod se degajă clor, iar la catod, hidrogen.

d. Rafinarea electrolitică a metalelor

Prin rafinarea unui metal se înțelege obținerea lui într-o stare cît mai pură. Principiul procedeului de rafinare electrolitică a cuprului, de exemplu, este următorul: în baia electrolitică se introduc anozi de cupru brut, cu impurități. Catodul este format din foi subțiri de cupru pur, iar electrolitul, dintr-o soluție de sulfat de cupru și acid sulfuric. În timpul fenomenului de electroliză, cuprul de pe anozi și metalele mai puțin nobile decît cuprul se dizolvă. Metalele nobile din anozi se depun la fund, formînd un nămol împreună cu impuritățile. Metalele mai puțin nobile rămîn în soluție, iar cuprul se depune pe catod, care se îmbogățește în cupru pur.

De asemenea, se pot rafina prin electroliză și alte metale, ca de exemplu aurul, argintul, nichelul ș.a.

e. Acoperirea electrolitică cu metale (tehnica galvanică)

Se pot acoperi cu metale pe cale electrolitică, atît obiectele metalice, cît și cele nemetalice. Obiectele metalice se acoperă cu alte metale, pentru a le feri împotriva coroziunii, pentru ca suprafața lor să devină mai rezistentă la uzură sau pentru a le da un aspect exterior mai frumos (luciu). Acoperirea unui metal cu alt metal prin electroliză se numește *galvanostegie*.

Se poate depune un strat metalic prin electroliză și pe un obiect nemetalic, dacă suprafața acestui obiect a fost făcută bună conducătoare de electricitate (prin grafitare de exemplu). Această operație poartă numele de *galvanoplastie*. În felul acesta se pot confecționa țevi de fier sau cupru, statuete etc.

În baia electrolitică, obiectul de acoperit se așază la catod. Soluția conține metalul ce urmează să se depună. Anozii conțin metalul de acoperit.

Oțelul se protejează, de exemplu, împotriva coroziunii prin zincare sau cadmiere. În cazul zincării electrolitice, baia conține sulfat de zinc, iar în cazul cadmierii, sulfat de cadmiu. Acoperirea cu nichel sau crom produce un luciu frumos, protejează împotriva coroziunii și mărește rezistența la uzură. De asemenea, se pot realiza prin electroliză arămirea, argintarea, aurirea, cositorirea etc. a metalelor.

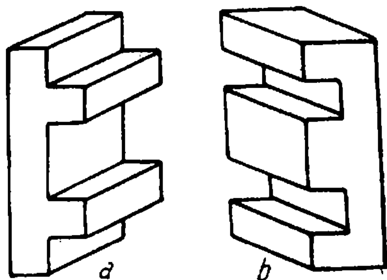


Fig. 26-9. Un obiect *a* și copia sa negativă *b*.

Galvanoplastia a fost descoperită în anul 1837 de către academicianul B.S. Iakobi. Pentru reproducerea unui obiect prin galvanoplastie, se confecționează în prealabil din ghips, ceară sau altă substanță plastică (ce se poate modela) o copie negativă a obiectului. În figura 26—9 se arată un obiect *a* și copia sa negativă *b*. Copia negativă, după ce se grafitează, se așază la catodul băii electrolitice.

3. Prelucrarea metalelor prin metoda anodo-mecanică

În figura 26—10 se explică principiul metodei anodo-mecanice (propusă de ing. Gusev) pentru tăierea unei piese de oțel *P*. Această piesă constituie anodul instalației și se leagă la polul pozitiv al unei surse de curent continuu *S*, care produce la bornele sale o tensiune de 20—30 V. Scula tăietoare S_c este un disc rotativ de oțel sau de cupru și se leagă la polul negativ al sursei, constituind catodul instalației.

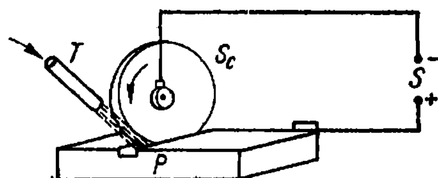


Fig. 26-10. Principiul tăierii prin metoda anodo-mecanică.

In spațiul dintre electrozi se lasă să curgă prin tubul T o soluție de *silicat de sodiu* (sticlă solubilă). Sub acțiunea curentului electric, lichidul formează o *peliculă* (pojghiță) pe suprafața de prelucrat a piesei. Discul exercită o mică presiune, care micșorează grosimea peliculei pe porțiunea de tăiat. Pe această porțiune, densitatea curentului crește și provoacă o anumită încălzire. Materialul este îndepărtat prin topire și eroziune electrochimică. Pelicula se reface continuu, iar căldura nu are timp să se propage în interiorul piesei și să-i modifice structura. Procedeul are avantajul de a nu necesita decît presiuni mici între sculă și piesă, oferind posibilitatea de a prelucra metale cu duritate mare. Se utilizează atît la tăiere cît și pentru ascuțirea sculelor la mașinile-unelte. La unele mașini anodo-mecanice de tăiat mai noi, în locul discului rotativ se găsește o bandă fără sfîrșit.

4. Prelucrarea (găurirea) metalelor prin scîntei electrice

Prelucrarea prin scîntei electrice a fost propusă inițial de N. și B. Lazarenko. Principiul este arătat în figura 26—11 (cazul găuririi). Piesa metalică P (anod) ce trebuie prelucrată și scula S_c (catod) se leagă la o sursă de curent continuu S. Instalația cuprinde două circuite cu o ramură comună, care conține condensatorul C. Locul de prelucrare este cufundat în *lichidul de lucru*, constituit din petrol lampant, ulei mineral ș.a. Sursa încarcă condensatorul, iar acesta se descarcă apoi în circuitul sculă-piesă, fenomenele de încărcare-descărcare repetîndu-se periodic. În timpul descărcărilor, lichidul dintre electrozi este străpuns, iar în punctele de străpungere temperatura crește mult, producîndu-se o eroziune a piesei. Cavitatea ce se formează ia forma electrodului-sculă, care are o mișcare de înaintare (avans). Procedeul prezintă avantaje deosebite la prelucrarea metalelor dure și extradure, precum și la obținerea unor orificii cu formă complicată. Tensiunea sursei este de obicei de 50—220 V, după felul prelucrării.

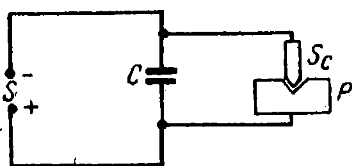


Fig. 26-11. Principiul prelucrării prin scîntei electrice.

5. Încălzirea în electrolit și prin pierderi în dielectric

Principiul încălzirii în electrolit rezultă din figura 26—12. Vasul metalic V conține un electrolit E, în care se cufundă piesa metalică P. Instalația se alimentează de la o sursă de curent continuu S, astfel încît piesa P (catod) să fie legată la polul negativ, iar vasul V (anod), la polul pozitiv. Se obține o încălzire rapidă și intensă a suprafeței piesei P în contact cu electrolitul din vas. Procedeul se aplică la călirea unor anumite piese și are avantajul de a încălzi suprafețele ce trebuie călite, mai înainte de a se produce o pătrundere importantă de căldură în interiorul piesei care să-i modifice structura.

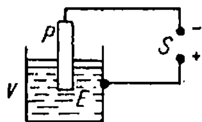


Fig. 26-12. Principiul încălzirii în electrolit.

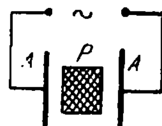


Fig. 26-13. Principiul încălzirii prin pierderi în dielectric.

Figura 26—13 ilustrează principiul încălzirii prin pierderi în dielectric, metodă care se aplică pieselor nemetalice. Între armăturile A ale unui condensator se așază piesa P și se aplică armăturilor o tensiune de înaltă frecvență.

În dielectricul constituit din piesa P se produc pierderi de energie, care se transformă în căldură și încălzesc piesa. Acest procedeu se aplică la uscarea lemnului, a cartonului, a fibrelor textile, a unor materiale de construcții etc.

6. Încălzirea prin radiații infraroșii

Radiațiile din spectrul vizibil au lungimi de undă cuprinse între 0,380 și 0,760 μ[1]. Limita superioară corespunde culorii roșii. Prin radiații infraroșii sau termice se înțeleg acele radiații care au lungimi de undă cuprinse între 0,760 și 1 000 μ. Corpurile care absorb asemenea radiații se încălzesc destul de repede și practic independent de temperatura mediului înconjurător.

[1] 1 μ (micron) = 19^{-6} m.

Pentru producerea acestor radiații se construiesc lămpi cu incandescență pentru radiații infraroșii cu puteri de 250—1 000 W și avînd forma arătată în figura 26—14. Filamentul incandescent *1* din wolfram este susținut de cîrligele de molibden *2*, fixate în lentila *3* de la extremitatea superioară a bastonașului metalic *4* sudat în *5 a* de piciorul *5*. În *6* există un mic tub, care după evacuarea aerului se închide în *6a*. Lampa se umple cu un gaz inert. Balonul *7* din sticlă conținînd sodiu, potasiu și calciu este acoperit în interior pînă la calotă cu un strat reflectant de aluminiu, iar calota este mătuită pentru a realiza o distribuție uniformă a radiațiilor. Electrozii *8* ai lămpii sînt legați la bornele *9* și *10* prin care se face legătura cu dispozitivul de aducere a energiei electrice.

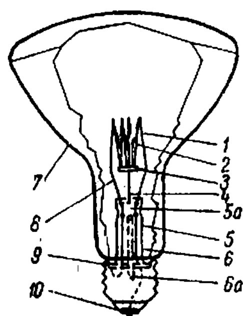


Fig. 26-14. Lampă electrică cu incandescență pentru radiații infraroșii.

Asemenea lămpi se pot întrebuința pentru încălzirea și uscarea anumitor corpuri, ca: vopsele, textile, materiale ceramice, legume, fructe, făină, paste făinoase, chimicale, lemn, hîrtie, piele ș.a.

Capitolul XXVII

Semnalizări și telecomunicații

Prin semnalizări și telecomunicații se înțeleg, în general, transmiterile de informații între un post emițător și unul receptor.

Semnalizările sînt operațiile de transmitere a unui semnal acustic, optic, combinat, sau prin unde electromagnetice la distanțe relativ mici și de obicei în sens unilateral, de la un emițător la un receptor. Informația transmisă prin semnalizare este sumară și se execută după un cod convențional ales.

Telecomunicațiile sînt operații de emisiune, transmisie și recepție a informațiilor de orice natură (semne, texte, imagini, semnale, sunete etc.) prin intermediul exclusiv al fenomenelor electromagnetice sau optice, la distanțe mari și în sens uni- sau bilateral.

Telecomunicațiile se clasifică în electrocomunicații și în comunicații optice, ultimele fiind folosite mai ales în navigația aeriană și maritimă.

Electrocomunicațiile cuprind telegrafia, telefonia, radiocomunicațiile și televiziunea.

1. Semnalizări acustice

Soneria electrică. Soneria este un aparat electroacustic, compus dintr-un electromagnet a cărui armătură mobilă are un ciocănel care lovește într-un clopot, pentru a emite sunete de semnalizare (vezi capitolul IV, figura 4—25).

În figura 27—1 s-a dat schema unei sonerii care poate funcționa și cu o singură lovitură în clopot dacă circuitul se închide numai prin electromagnet, fără a mai trece și prin întreruptorul lamelei vibrante. În acest caz, armătura stă atrasă atît timp cît durează apăsarea pe butonul C, ciocănelul dînd doar o singură lovitură. Butonul B servește pentru funcționare ca sonerie obișnuită, vibrantă. O astfel de sonerie poate fi folosită în instalațiile

industriale pentru semnalizări, utilizînd diverse coduri pentru diversele informații ce se transmit (spre exemplu: semnal vibrant prelungit = avertizare; semnale scurte și lungi, alternate după un cod anumit = informații).

După felul sursei de curent se deosebesc sonerii de curent continuu, alimentate de obicei de elemente galvanice sau baterii uscate și sonerii de curent alternativ, legate la rețeaua de energie electrică prin intermediul unui transformator coborîtor de tensiune, a cărui tensiune secundară este de 3–8 V

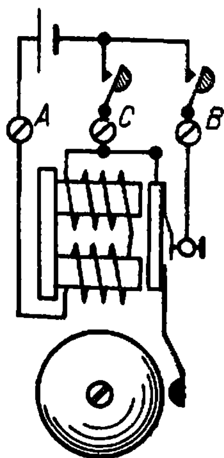


Fig. 27-1. Sonerie electrică cu o singură lovitură.

Soneria reprezentată în figura 27 — 1 poate fi întrebuințată atît în curent continuu, cît și în curent alternativ. Există însă și sonerii numai pentru curent alternativ, care funcționează fără întreruperea curentului (fig. 27—2), numite sonerii cu electromagnet polarizat. Această sonerie are în circuitul magnetic al electromagnetului un magnet permanent, iar cele două bobine sînt înfășurate în sensuri contrare. Armătura *A* așezată în fața miezurilor *K* este fixată astfel, încît se poate roti cu ușurință în jurul unei axe de rotație, mișcînd totodată un ciocănaș care este solidar cu ea. Magnetul permanent face ca miezurile *K* să fie magnetizate permanent. La trecerea curentului alternativ prin înfășurare, într-o jumătate de perioadă fluxul printr-unul din miezuri se întărește, și prin celălalt miez slăbește, iar în jumătatea de perioadă următoare, curentul schimbînd de semn situația fluxurilor prin cele două miezuri, se inversează. Din cauza diferenței fluxurilor magnetice prin cele două miezuri armătura este atrasă înspre miezul în care fluxul este mai intens. Deci, în cazul folosirii unui curent alternativ cu frecvența de 50 Hz, armătura efectuează într-o secundă $2\times 50 = 100$ oscilații, iar ciocănelul solidar cu ea lovește de tot atîtea ori în cele două clopote.

Soneriile de curent alternativ sînt foarte sensibile și pot funcționa cu curenți foarte mici, dacă bobinele au spire multe. Față de cele cu întreruperea circuitului, ele au avantajul că nu produc paraziți radiofonici prin scînteile ce apar la acestea din urmă, la fiecare întrerupere a curentului. Soneriile de curent alternativ se folosesc îndeosebi în instalațiile telefonice.

Pentru distingerea sunetelor unor sonerii care funcționează într-o aceeași încăpere, clopotele lor se execută în forme și dimensiuni diferite: clopotele plate dau sunete ascuțite, pe cînd cele de formă alungită dau sunete grave.

Soneriile descrise mai sus se montează numai în derivație.

În figura 27—3 sînt reprezentate diferite montaje de sonerii: în *A* este reprezentată o sonerie cu o singură lovitură, în *B*, o sonerie cu un întreruptor pentru scoaterea din funcțiune, în *C*, două sonerii legate în paralel, putînd fi acționate simultan din două locuri diferite (unde se află plasate butoanele), iar în *D*, două sonerii putînd fi puse pe rînd în serviciu, cu ajutorul unui comutator.

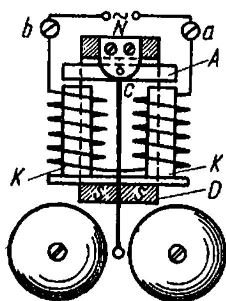


Fig. 27-2. Sonerie numai pentru curent alternativ.

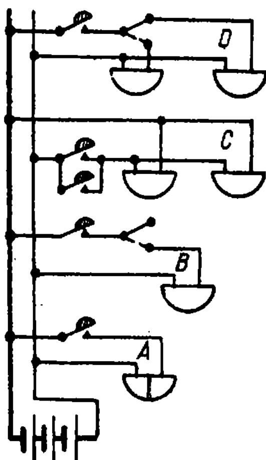


Fig. 27-3. Montaje de sonerii.

În afară de sonerii, pentru semnalizarea acustică se mai folosesc: buzzere, clacsoane și sirene.

Buzzerul este de fapt o sonerie fără clopot și cu dimensiunile electromagnetului mai reduse; ciocănelul său este înlocuit de o paletă care vibrează la fel ca la soneria simplă și lovește în carcasa de bachelită a buzzerului, producînd un bîzîit. Buzzerul este folosit în locuințe sau birouri, sunetul său fiind mai puțin strident și supărător decît cel al soneriei.

Clacsoanele (hupele) sînt dispozitive de semnalizare mai puternice decît soneriile. Există clacsoane care funcționează în curent continuu sau în curent alternativ. În figura 27—4 este reprezentat un clacson care funcționează în curent continuu. Curentul trece de la clema *A* la contactul vibrant *U*, apoi, prin arcul *F*, care este legat galvanic de inelul de stringere S_p, la

clema inelului şi de aici, prin bobină, la clema *B*. Bobina parcursă de curent atrage miezul de fier *K*: acest miez, fiind solidar cu membranele M_1 şi M_2, produce deplasarea acestora în jos. Arcul *F*, care apasă în jos, întrerupe în *U* circuitul, ceea ce face ca membranele să revină în poziţia iniţială, fenomenul repetîndu-se apoi cu o frecvenţă care depinde, printre altele, de elasticitatea, diametrul şi grosimea membranelor. Sunetul produs este dirijat în afară printr-o pîlnie dreaptă sau curbă. Condensatorul *C* are rolul de a stinge scînteile la întreruperile circuitului, protejînd prin aceasta contactul *U* şi eliminînd paraziţii radiofonici care s-ar produce în lipsa lui. Sunetul produs de claxoane are o frecvenţă cuprinsă între 400 şi 800 Hz.

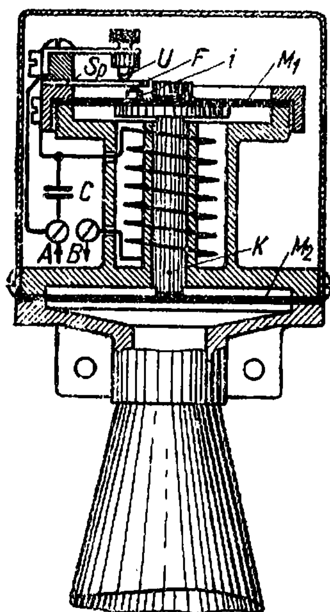


Fig. 27-4. Claxon cu funcţionarea în curent continuu.

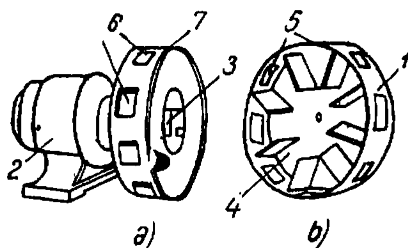


Fig. 27-5. Sirenă cu curent de aer.

Sirenele sînt aparate emiţătoare de sunete de o foarte mare intensitate, folosite pentru semnalizare în uzină, circulaţie, sau navigaţie sau pentru emiterea unor semnale de alarmă. Sirenele pot funcţiona cu curent de aer sau de abur. Sunetul produs are un singur ton şi o intensitate foarte mare, putînd fi auzit pînă la distanţe de 10—20 km.

În figura 27—5 este reprezentată o sirenă care funcţionează prin curent de aer, antrenată de un motor electric. Toba *1*, care are un număr oarecare de camere *4* cu deschideri dreptunghiulare *5*, este învîrtită de motorul electric *2*, aerul este antrenat prin deschiderea circulară *3*, trece apoi prin camerele *4*, prin deschiderile *5* şi prin deschiderile dreptunghiulare *6* ale tobei fixe *7*, egale ca mărime şi ca număr cu cele ale tobei rotitoare.

Curentul de aer este deci, în mod alternativ, oprit și lăsat să treacă de cealaltă parte a tobei fixe, în atmosferă, suferind astfel comprimări și destinderi succesive, cu o anumită frecvență, producînd astfel undele sonore. Frecvența sunetului se poate modifica variind turația, iar intensitatea sunetului, prin varierea debitului de aer (prin modificarea deschiderii prin care intră aerul).

Dacă *m* este numărul de deschideri ale tobei rotitoare și *n* (rot/s) este turația ei, frecvența sunetului produs este $f = m \cdot n$ per/s).

2. Noțiuni de telegrafie

Prin telegrafie se înțelege de obicei acel sistem de telecomunicație, în care se transmit unilateral sau bilateral comunicări la distanță prin semne vizibile sau auzibile, prin întreruperea unor curenți electrici care se propagă de-a lungul unor conductoare, dintre care, drept conductor pentru întoarcerea curentului se folosește aproape exclusiv pămîntul.

Părțile principale ale unui telegraf electric sînt: *bateria* de alimentare, *linia telegrafică*, *manipulatorul* și *receptorul*.

Bateria este formată, în general, dintr-un mare număr de elemente dispuse în serie și se află la stația de plecare.

Linia telegrafică care stabilește legătura între stațiunile telegrafice este construită din sîrmă de fier galvanizat, adică acoperit la suprafață cu un strat de zinc care apără fierul de oxidare. Diametrul sîrmei este, de obicei, de 4—5 mm, astfel încît rezistența electrică a liniei este de 10 Ω/km. Liniile sînt aeriene, conductoarele fiind susținute pe stîlpii de lemn sau de beton armat, de către izolatoarele de sticlă sau de porțelan, fixate la partea superioară a stîlpilor cu ajutorul unor cîrlige de fier.

În telegrafie, drept conductor de întoarcere a curentului este folosit de obicei pămîntul, deoarece în acest fel se reduce la jumătate cantitatea de material necesară realizării liniei (conductoare și izolatoare); totodată, se reduce și sursa de curent la jumătate (față de o linie cu două conductoare aeriene), deoarece rezistența liniei este de două ori mai mică.

Manipulatorul Morse. Acest aparat este în realitate un întreruptor de curent (fig. 27—6) și se compune dintr-o pîrghie metalică care se poate mișca în jurul unui ax orizontal *A* închizînd unul din cele două contacte cu care este prevăzută pîrghia la extremitățile sale. Un resort *f* menține pîrghia manipulatorului într-o poziție anumită, de repaus. Apăsînd asupra mînerului *M*,

pîrghia se apleacă în jos, contactul de sub mîner se închide şi cel din partea opusă se deschide. Cînd apăsarea încetează, sub acţiunea resortului, pîrghia revine în poziţia sa de repaus.

Receptorul Morse este destinat primirii semnalelor transmise de manipulator. Receptorul Morse (fig. 27—7) este compus dintr-un electromagnet E care atrage (cînd bobina sa este străbătută de curent) o plăcuţă de fier A fixată de pîrghia AOD şi înclină

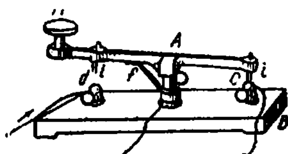


Fig. 27-6. Manipulator Morse.

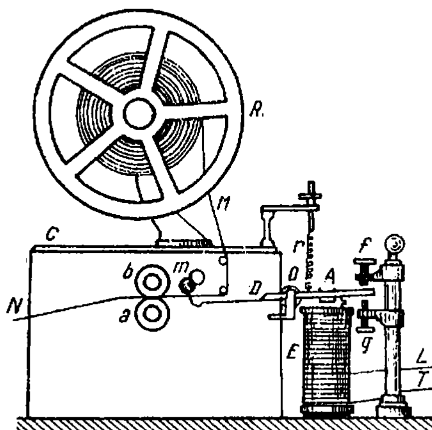


Fig. 27-7. Receptor Morse.

pîrghia; extremitatea braţului OD al pîrghiei apasă în acest caz asupra benzii de hîrtie MN care este antrenată de mişcarea uniformă a cilindrilor a şi b învîrtiţi de un mecanism de ceasornicărie care se află în interiorul cutiei C. Banda de hîrtie este apăsată astfel pe un cilindru m acoperit cu pîslă îmbibată în cerneală şi va primi o linie de cerneală a cărei lungime depinde direct de durata trecerii curentului prin bobina electromagnetului E. La alte sisteme de receptoare, în locul pîslei îmbibate cu cerneală se foloseşte o rotiţă imprimatoare, fixată la extremitatea braţului OD şi stînd cu jumătatea ei inferioară într-o baie de cerneală tipografică.

Mişcarea pîrghiei AOD a receptorului Morse este limitată de două şuruburi verticale, f şi g, care împiedică pîrghia să se depărteze prea mult de electromagnet, cînd curentul este întrerupt sub acţiunea resortului r sau să atingă electromagnetul, în care caz piesa A ar păstra un magnetism remanent care ar face ca aparatul să nu mai funcţioneze regulat. După mărimea timpului de trecere a curentului prin electromagnet se imprimă pe hîrtie linii sau puncte. Pauzele sînt date de absenţa curentului. Prin combinarea liniilor şi punctelor a fost alcătuit un alfabet convenţional numit *alfabetul Morse* (tabela 27—1), în care literelor din

alfabet, cifrelor şi diferitelor semne de punctuaţie le corespund anumite grupe de linii şi de puncte.

Tabela 27-1

Alfabetul Morse

a	· –	r	–	l	– – – –
b	–	s		/	– – ·
c	– · – ·	t	–	–	– ···· –
d	–	u	–	?	– – ··
e		v	–	1	· – – – –
f	–	w	– –	2	– – –
g	– –	x	– ··	3	··· – –
h		y	– · – –	4	–
i		z	– – ··	5	
j	· – – –	ch	– – – –	6	–
k	· – –	ä	– –	7	– –
l	· – ··	é	·· –	8	– – – ··
m	– –	ö	– – – ·	9	– – – – ·
n	– ·	ü	– –	0	– – – – –
o	– – –			Greşeală	········
p	· – –		– · – · –	Priceput	··· – ·
q	– – · –		– · – · –	Sfîrşit	– –

Dintre diferitele montaje folosite în telegrafie (numite montaje Morse), cel mai simplu este cel reprezentat în figura 27—8, numit montaj cu curent de lucru.

La acest montaj, bateria fiecărei staţii telegrafice trebuie să fie suficient de puternică pentru a putea trimite de-a lungul întregului traseu curentul necesar acţionării receptorului, mai ales pentru conducte lungi, fără staţii intermediare.

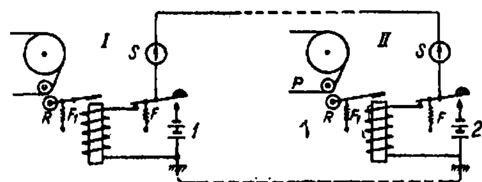


Fig. 27-8. Montaj Morse cu curent de lucru.

Dacă se apasă (în staţia *I* de exemplu) pe manipulatorul Morse, învingîndu-se rezistenţa resortului *f*, se închide circuitul bateriei *1* şi aceasta va debita un curent prin electromagnetul receptorului staţiei *II* şi de acolo, înapoi, prin pămînt, curentul se întoarce la bateria *I*.

În staţia *II*, receptorul intră astfel în funcţiune, electromagnetul atrage armătura respectivă, iar rotiţa imprimatoare *R* apasă

pe banda de hîrtie. Mişcarea benzii de hîrtie este declanşată o dată cu apariţia curentului în electromagnet, ceea ce asigură mersul benzii pînă la terminarea transmisiei telegramei.

Acest montaj are două principale dezavantaje, şi anume: instalaţia nu poate fi controlată cînd nu se află în funcţiune şi apoi nu există un control al telegramelor transmise.

Montajul din figura 27—9, numit cu curent de repaus, elimină aceste dezavantaje.

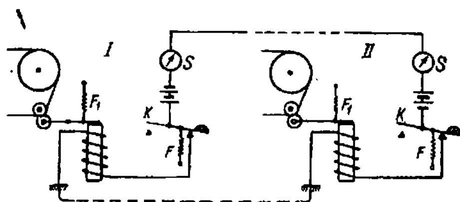


Fig. 27-9. Montaj Morse cu curent de repaus.

În timpul cît cele două staţii sînt în repaus, manipulatoarele sînt fixate în poziţia „apăsat", astfel încît, după cum se vede din figură, traseul stă tot timpul sub controlul curentului debitat de baterie şi indicat de miliampermetrele S din cele două staţii.

Cînd se începe transmiterea telegramei, se înlătură piedica ce fixa manipulatorul în poziţia „apăsat", la staţia care transmite. La dispariţia curentului prin electromagneţi este declanşată mişcarea benzii care va dura pînă la terminarea transmiterii telegramei (există un mecanism de ceasornicărie care opreşte mişcarea benzii cînd armătura electromagnetului receptorului stă atrasă un timp mai îndelungat decît cel necesar scrierii a două cuvinte). Semnalele Morse se înscriu simultan pe banda postului receptor şi pe aceea a postului transmiţător, permiţînd astfel controlul transmiterii telegramei chiar la locul de emisiune.

În prezent, există sisteme perfecţionate de telegrafie, şi anume:

— telegrafie duplex, în care transmisia se face simultan, în ambele sensuri;

— telegrafie multiplă, avînd transmisia mai multor comunicaţii deodată, pe acelaşi fir şi în acelaşi sens, realizată prin legarea succesivă şi periodică a diverselor perechi de aparate telegrafice emiţătoare şi receptoare pe acelaşi fir sau prin utilizarea unor curenţi electrici de frecvenţe diferite pentru fiecare pereche de aparate telegrafice, care se separă la recepţie prin filtre de bandă (dispozitive care lasă să treacă numai un anumit interval de frecvenţe);

— telegrafia rapidă, în care telegramele, scrise în prealabil pe o bandă de hîrtie cu ajutorul unui perforator, sînt transmise automat şi rapid, cu ajutorul unor dispozitive cu ace echipate cu pîrghii şi contacte. La recepţie se obţin, tot automat,

puncte şi linii pe banda de hîrtie, care trebuie apoi descifrată şi transcrisă.

O altă perfecţionare a telegrafiei a constat în traducerea semnalelor Morse în litere obişnuite şi scrierea lor direct pe banda de hîrtie. Aceste aparate sînt denumite *teleimprimatoare*. Cu ajutorul teleimprimatoarelor se pot transmite şi recepţiona comunicările telegrafice direct în litere.

3. Noţiuni de telefonie

Prin telefonie se înţelege sistemul de telecomunicaţie în care se transmit bilateral convorbirile, prin mijlocirea curenţilor electrici care circulă în circuitul închis compus din două conductoare metalice izolate: microfonul şi receptorul.

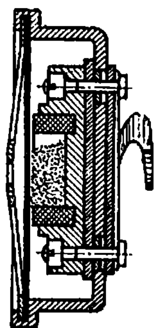


Fig. 27-10. Microfon telefonic cu cărbune.

Microfonul este un dispozitiv sensibil, capabil să poată transforma şocurile slabe provocate de vibraţia aerului care reprezintă vocea omenească, în variaţii de curent electric destul de puternice. Partea microfonului care primeşte vibraţiile aerului este membrana microfonului, o placă rotundă, de 0,2—0,3 mm grosime, din tablă de alamă sau aluminiu (fig. 27—10). Membrana este strînsă într-o capsulă de alamă sau aluminiu, nichelată. În spatele membranei se găsesc grăunţe sferice de cărbune presat, de diametru mic, conţinute într-un inel de pîslă montat într-un corp de cărbune masiv. Inelul de pîslă este în contact cu membrana şi vibrează o dată cu ea. Întrucît inelul de pîslă este elastic, membrana nu este împiedicată în oscilaţiile ei, ci numai puţin amortizată. Atît membrana, cît şi corpul de cărbune sînt polizate fin, pentru ca micile scîntei care apar în interiorul capsulei să nu provoace arderea sau lipirea grăunţelor. Recipientul cu grăunţe de cărbune trebuie să fie doar parţial plin cu grăunţe, pentru ca ele să se poată amesteca bine la începutul şi la sfîrşitul convorbirii (cînd microfonul este mişcat), evitîndu-se astfel lipirile grăunţelor.

Funcţionarea microfonului se bazează pe variaţia rezistenţei pe care o opune trecerii curentului electric, prin modificarea rezistenţei de contact între grăunţele de cărbune, în funcţie de presiunea exercitată asupra lor de vibraţiile membranei. Atît

timp cît nu se vorbeşte în faţa microfonului, curentul microfonic rămîne un curent continuu constant, care depinde de rezistenţa microfonului în starea sa de repaus şi de tensiunea bateriei. În timpul cît se vorbeşte în faţa microfonului, membrana vibrează şi produce variaţia rezistenţei interne a microfonului; curentul care trece prin microfon este astfel variabil în timpul funcţionării sale, oscilînd în jurul curentului constant de alimentare, cu frecvenţa sunetelor pronunţate în faţa microfonului.

Microfoanele se montează într-un suport terminat printr-un capac de formă bombată, avînd o sită şi cîteva fante paralele prin care se vorbeşte.

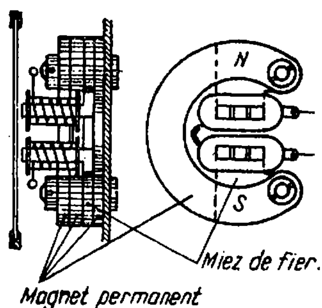


Fig. 27-11. Receptor telefonic.

Receptorul telefonic este construit ţinînd seama de principiul electromagnetic. El este alcătuit dintr-un magnet permanent, din bobine şi dintr-o membrană (fig. 27—11).

De magnetul permanent sînt fixate două miezuri de fier moale în jurul cărora sînt înfăşurate bobinele. Magneţii permanenţi sînt confecţionaţi din oţel special şi au rolul de a ţine continuu membrana puţin atrasă. Bobinele sînt executate din sîrmă subţire de cupru izolată cu lac sau mătase. Membrana este confecţionată din fier moale lăcuit şi este potrivită exact şi menţinută în acea poziţie de către un capac care se înşurubează pe carcasa care conţine receptorul.

Curentul care trece prin receptor este identic cu curentul ce trece prin microfon, adică un curent variabil, avînd o componentă continuă şi una alternativă de frecvenţă vocală. Trecînd prin receptor, acest curent va provoca vibraţia membranei în ritmul componentei sale alternative, deci va reproduce sunetele rostite în faţa microfonului.

Magnetul permanent din receptorul telefonic are rolul de a crea o forţă de atracţie suficient de mare a membranei, astfel încît forţele alternative de atracţie sau de respingere, care apar ca rezultat al componentei alternative (vocale) a curentului microfonic, să poată solicita membrana în ambele sensuri. Dacă n-ar exista magnetul permanent, membrana nu ar putea fi decît atrasă, atît în timpul alternanţelor pozitive ale curentului microfonic, cît şi în timpul alternanţelor negative. Sunetul produs în acest fel ar fi puternic distorsionat.

În practică, deoarece transmisiile telefonice sînt bilaterale, microfonul de la postul transmițător și receptorul postului ascultător sînt reunite într-un singur aparat, numit aparat telefonic.

Circuitul telefonic cel mai simplu este cel reprezentat în figura 27—12, în care microfonul, receptorul și bateria de alimentare sînt legate în serie în circuit.

Într-un astfel de circuit, variația curentului este mică, deoarece variația rezistenței microfonului la care se vorbește este mică,

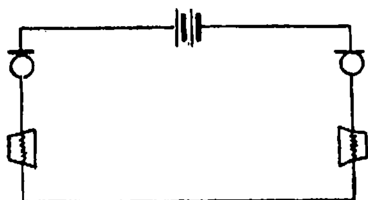


Fig. 27-12. Schema unui circuit telefonic cu montaj direct.

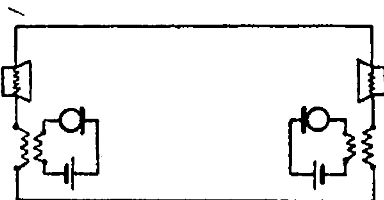


Fig. 27-13. Schema unui circuit telefonic cu montaj indirect, cu baterie locală.

procentual, față de rezistența întregului circuit, astfel încît efectul sonor este slab. Acest montaj poate fi folosit doar în instalații cu aparatele aflate în apropiere (în aceeași clădire).

Spre a putea învinge rezistența circuitelor lungi cu căderi de tensiune cît mai mici, curentul alternativ vocal, produs în circuitul local al microfonului cu baterie locală (fig. 27—13), este transformat în curent de tensiune mare și intensitate mică, în bobine de inducție. În acest scop, microfonul este astfel montat într-un circuit în care, pe lîngă rezistența sa, variabilă, se mai află rezistența bobinei primare, a bobinei de inducție și rezistența internă a bateriei locale. Ultimele două rezistențe sînt relativ mici în raport cu rezistența proprie a microfonului. În timpul funcționării se modifică doar rezistența microfonului, adică rezistența mare, astfel că variațiile de curent sînt apreciabile, asigurînd claritatea convorbirii.

Pe lîngă microfon și receptor, un aparat telefonic mai cuprinde și alte dispozitive, necesare pentru punerea în legătură și asigurarea convorbirii între doi corespondenți, ca: soneria pentru chemare, comutatorul pentru întreruperea anumitor circuite (microfon, sonerie) și întreruptorul cu numere.

Un astfel de aparat, pentru instalații automate, este cel reprezentat în figura 27—14, unde nu s-au reprezentat întreruptorul cu numere (discul cu numere) și comutatorul de circuite.

Cele două conductoare *a* și *b* leagă aparatul de centrala telefonică și prin același circuit se obțin atît apelul, cît și convorbirea. Rezistența *R* de o valoare apropiată de rezistența circuitului exterior aparatului (linia) are rolul amortizării emisiunii microfonice proprii, care s-ar auzi puternic în cască în lipsa acestei rezistențe.

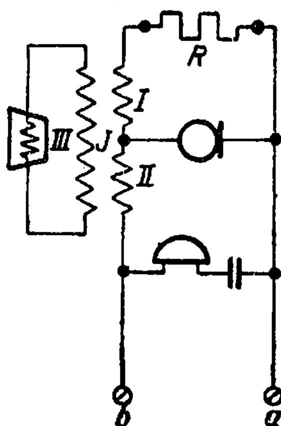


Fig. 27-14 — Schema simplificată a unui aparat telefonic cu instalație automată.

Sistemele de transmisie telefonică pot fi (după construcție și modul de stabilire a legăturilor):

— *cu baterie locală la abonați*. Acesta este sistemul cel mai vechi și este astăzi ieșit din uz în instalațiile urbane. Se folosește însă pe șantiere sau în locurile unde instalațiile sînt temporare;

— *cu baterie centrală și cu stabilirea manuală a comunicațiilor* de către operatoare aflate la tablourile de conexiune din centralele telefonice;

— *cu baterie centrală și cu stabilirea automată a comunicațiilor* prin sisteme electromagnetice care înlocuiesc operatoarele din centralele telefonice.

După felul curentului folosit, transmisiile telefonice pot fi:

— *cu frecvență vocală*, în care curentul transmis prin linie este alternativ și are frecvența produsă de vorbitor (200 — 3 500 Hz);

— *cu curenți purtători*, în care frecvențele vocale ale convorbirii se transpun pe frecvențele înalte ale unor curenți care se trimit apoi prin linia telefonică. La recepție, curenții care „poartă" frecvențele vocale sînt separați de frecvențele vocale. În acest fel se poate realiza o transmisie simultană pe același circuit a mai multor convorbiri (telefonie multiplă), fără a se perturba una pe alta, dacă frecvențele curenților purtători se aleg diferite.

Constructiv, liniile telefonice pot fi: aeriene sau în cabluri subterane.

Rețelele de linii telefonice aeriene sînt formate din conductoare metalice neizolate, din bronz fosforos, cupru și, pentru distanțe scurte, din oțel galvanizat, fixate pe izolatoare de sticlă sau porțelan, sprijinite de suporți curbați sau de console fixate pe stîlpi de lemn de înălțimi și grosimi corespunzătoare numărului de circuite pe care au să le suporte.

Cablurile subterane și subacvatice sînt construite dintr-un număr relativ mare de perechi de conductoare de cupru sau de

bronz, izolate fiecare separat cu hîrtie impregnată cu o compoziție specială izolatoare și hidrofugă, avînd fiecare cîte un fir de bumbac colorat diferit, răsucit în spirală în lungul conductorului, pentru a permite recunoașterea perechii de conductoare care formează un circuit telefonic. Toate aceste conductoare sînt învelite într-o singură manta continuă de plumb, care le apără de umezeală. Pentru protecție împotriva acțiunilor mecanice (lovituri), cablurile au blindaje speciale din benzi de oțel.

4. Noțiuni de radiofonie

Radiofonia este sistemul de telecomunicație în care se transmit comunicări sau programe vorbite sau muzicale, de la o stație de emisie la diferitele posturi de recepție, prin intermediul undelor electromagnetice de înaltă frecvență care se propagă prin întregul spațiu.

Schema simplificată a unui *post de emisie* se poate vedea în figura 27—15. Unul dintre elementele sale principale îl constituie circuitul oscilant, format din condensatorul C și inductanța L_2, montate în paralel, fiind montate împreună în circuitul anodic al unei triode (v. capitolul IX). Un circuit oscilant are (după cum se știe) o frecvență proprie de rezonanță, dată de relația:

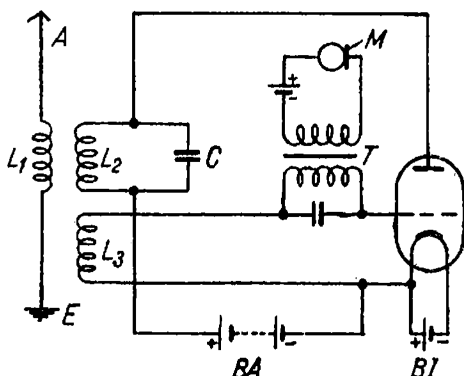


Fig. 27-15. Schema simplificată a unui post de radioemisie.

$$f = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ Hz}$$

în care L și C sînt inductanța și capacitatea sa, exprimate în henry, respectiv în farazi. La frecvența de rezonanță, tensiunea la bornele circuitului oscilant este maximă. În figura 27—15 oscilațiile care ar apărea în circuitul (L_2, C) la conectarea bateriei anodice BA s-ar amortiza repede dacă nu ar exista bobina L_3 cuplată

inductiv cu bobina L_2 a circuitului oscilant și conectată în așa fel în circuitul de grilă al triodei, încît să producă o reacție pozitivă asupra curentului anodic al triodei. Pierderile de putere din circuitul oscilant sînt astfel în permanență înlocuite și tubul împreună cu circuitul (L_2, C) încep să oscileze regulat pe frecvența proprie a circuitului acordat. În același timp, tensiunea alternativă de la bornele circuitului oscilant se induce în bobina de antenă L_1, datorită cuplajului inductiv care există între L_1 și L_2, iar din bobina L_1 încep să fie radiate în spațiu unde electromagnetice de frecvența f (înaltă).

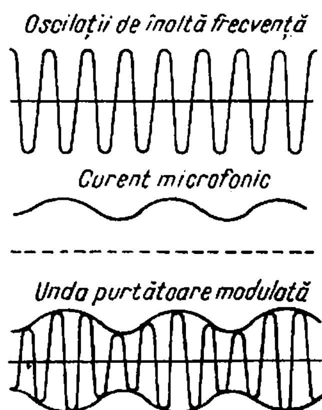


Fig. 27–16. Modul de formare a undelor modulate în amplitudine.

Cele două înfășurări ale transformatorului T sînt de asemenea cuplate inductiv între ele, astfel încît fluctuațiile de curent provocate de microfonul M acționează de asemenea asupra grilei triodei, cauzînd oscilații de tensiune în ritmul vorbirii. În consecință, curentul anodic al tubului variază în același ritm cu vorbirea. Undele electromagnetice de înaltă frecvență radiate de antenă vor fi, prin urmare, *modulate* în ritmul semnalelor sonore produse în fața microfonului (fig. 27—16). Bateria BI servește la încălzirea tubului.

Fiecărui emițător îi este atribuită o anumită frecvență înaltă, denumită *undă purtătoare* a undei de frecvență acustică, pentru a nu se suprapune programele diferitelor posturi de emisie existente. În loc de frecvența f a undelor purtătoare radiate se dă, uneori, lungimea lor de undă λ, relația care le unește fiind:

$$\lambda \cdot f = c,$$

în care c este viteza de propagare a undelor electromagnetice, egală cu viteza luminii (aproximativ 300 000 km/s).

Lungimea de undă a undelor radiate de diferitele posturi de emisie variază de la cîțiva metri pînă la peste 2 km și se clasifică în unde ultrascurte (de ordinul metrilor), scurte (11—50 m), medii (175—600 m) și lungi (800—2 500 m).

Propagarea undelor are loc în două feluri: *o undă de suprafață* (fig. 27—17) care se propagă în linie dreaptă, de obicei puțin

peste limita vizibilităţii şi aşa-numita *undă spaţială* care se propagă în spaţiu şi este reflectată de păturile superioare ale atmosferei, situate la circa 100 km deasupra solului (stratul lui Heaviside). Între zona acoperită de unda de suprafaţă şi zona acoperită de unda spaţială reflectată, se găseşte o zonă în care nu este posibilă recepţia emiţătorului; această zonă se numeşte „zona de tăcere".

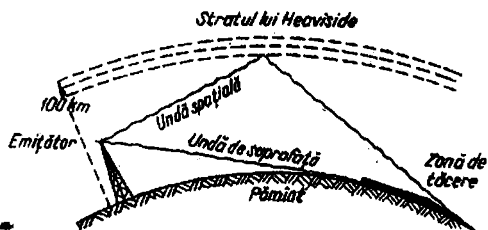


Fig. 27-17. Propagarea undelor radiofonice.

Trebuie remarcat faptul că undele ultrascurte nu sînt reflectate de stratul lui Heaviside, ci îl străbat şi scapă din zona terestră. În cazul undelor ultrascurte, nu se pot recepţiona, aşadar, decît undele de suprafaţă.

Recepţia undelor se face în posturile de recepţie, care au la bază de asemenea o antenă şi un circuit oscilant acordat pe frecvenţa undei de recepţionat, în scopul de a capta tensiunea maximă. După aceasta, unda purtătoare modulată este demodulată, adică este separată unda purtătoare de unda de joasă frecvenţă (de frecvenţa acustică). În figura 27—18 se arată modul în care se realizează demodularea, şi anume, prin îndepărtarea unora din alternanţele undei modulate. Demodularea se mai numeşte şi *detecţie.*

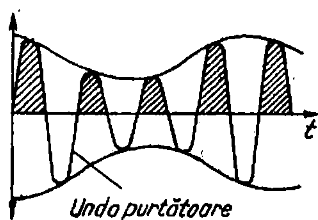


Fig. 27-18. Detecţia.

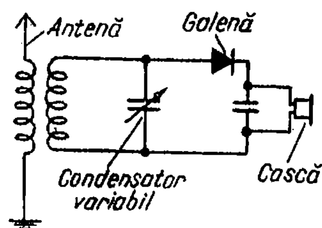


Fig. 27-19. Receptor cu galenă.

Tensiunea de frecvenţă acustică obţinută prin detecţie se aplică fie unei căşti telefonice (fig. 27—11), fie unui dispozitiv de redat sunetele, construit după un principiu asemănător, dar avînd dimensiuni mult mai mari, numit *difuzor.*

Detecţia se poate efectua fie cu ajutorul unor tuburi redresoare, fie cu ajutorul unei galene. Aceasta este compusă dintr-un

cristal de sulfură de plumb cu care vine în atingere un vîrf ascuțit. Acest dispozitiv permite trecerea curentului doar într-un singur sens. În figura 27—19 este reprezentată schema electrică a unui receptor cu galenă care poate da rezultate bune în apropierea posturilor de radioemisie, unde radiațiile culese de antenă au o intensitate mare.

Dacă postul care trebuie recepționat este situat într-o regiune îndepărtată, trebuie realizată o amplificare a undelor recepționate (eventual în mai multe etaje) înainte de a fi aplicate difuzorului, din cauza atenuării undelor de-a lungul drumului lung parcurs de ele pînă la recepție.

La început, receptoarele erau construite pe baza principiului amplificării directe, descris mai sus. Dezavantajul principal al acestor receptoare constă în faptul că, în timpul funcționării lor, influențează recepția posturilor receptoare învecinate, prin emisiunea unor unde de frecvențe dependente de frecvența postului recepționat.

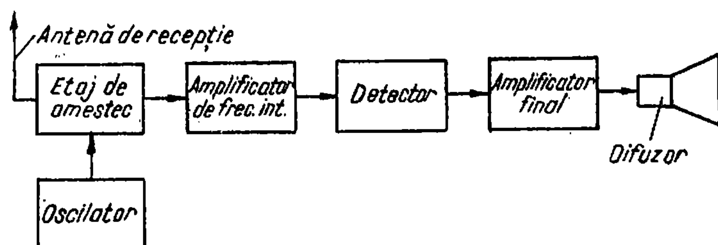


Fig. 27–20. Receptor superheterodină.

În prezent, majoritatea receptoarelor sînt construite după principiul *superheterodinei*. În figura 27—20 este redată schema simplificată a unui astfel de receptor. În acest receptor, unda purtătoare modulată, culeasă de antenă, este amestecată (în etajul de amestec) cu o tensiune auxiliară generată în etajul de intrare al receptorului, de către oscilatorul local, avînd frecvența întotdeauna mai mare decît frecvența tensiunii modulate recepționate cu o valoare egală cu frecvența intermediară a receptorului (constantă). În tubul de amestec rezultă, ca urmare a amestecului celor două tensiuni de frecvență diferite, așa-numita tensiune de frecvență intermediară, a cărei frecvență este egală cu diferența frecvențelor celor două tensiuni amestecate.

De obicei se folosește o frecvență intermediară f_i de 470 kHz. Aceasta înseamnă că frecvența f_o a tensiunii produse de oscila-

torul local este în oricare poziție a condensatorului variabil de acord mai mare decît frecvența tensiunii modulate recepționate f_r, cu valoarea f_i a frecvenței intermediare, adică

$$f_o = f_r + f_i = f_r + 470.$$

În etajul de amestec, în urma amestecului tensiunilor de frecvență f_r și f_o apare, ca rezultat al fenomenului de „bătăi", o tensiune a cărei frecvență este egală cu diferența frecvențelor tensiunilor amestecate, adică tocmai o tensiune de frecvență intermediară:

$$f_i = f_o - f_r = 470 \text{ kHz},$$

care păstrează modulația tensiunii recepționate.

În urma unei amplificări și a detecției acestei frecvențe intermediare, se obține tensiunea de frecvență acustică, care apoi este amplificată și aplicată difuzorului care produce sunetele.

Avantajul superheterodinei, față de receptoarele cu amplificare directă, constă în faptul că tensiunea pe care o amplifică apoi receptorul are întotdeauna o frecvență constantă. Elementele de montaj necesare în acest scop (filtrele de bandă) pot fi mult mai eficace, deoarece pot fi calculate să lucreze pentru o anumită frecvență (egală cu frecvența intermediară). În afară de aceasta, amplificarea unei superheterodine este mult mai mare.

În prezent, majoritatea aparatelor de radiorecepție sînt alimentate prin intermediul unor redresoare de la rețeaua de iluminat.

5. Noțiuni de televiziune

Prin televiziune se înțelege un sistem de telecomunicație, prin care se transmit imagini ale unor obiective fixe sau în mișcare de la un post de emisie, la posturi de recepție, prin intermediul undelor electromagnetice de foarte mare frecvență.

Televiziunea este bazată pe transmisia succesivă a elementelor (punctelor) unei imagini, traducînd variațiile de lumină în variații de curent, la postul de emisie, și apoi variațiile de curent în variații de lumină, la postul de recepție.

Emisia și recepția se fac pe elemente (puncte) separate din imagine, succesiv, dar într-un timp foarte scurt în raport cu timpul necesar transmiterii întregii imagini, astfel că, datorită persistenței imaginilor luminoase pe retină, ochiul are impresia

unei imagini întregi iluminate, simultan pe toate punctele ei, deși aceste puncte au fost iluminate succesiv.

În figura 27—21 este reprezentată schema unei transmisii de televiziune. Deosebirea fundamentală dintre televiziune și radiofonie constă, așadar, în faptul că în cazul televiziunii, punctele luminoase sînt transmise succesiv, pe cînd în cazul radio-

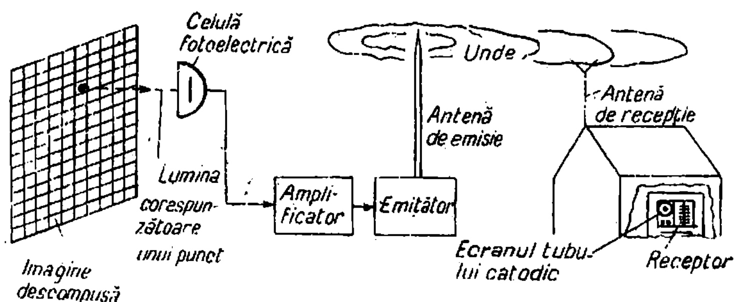


Fig. 27-21. Schema unei transmisii de televiziune.

foniei transmisia sunetelor se face concomitent. Această deosebire pune grele probleme de sincronizare tehnicii de înaltă frecvență, pe care însă aceasta le-a rezolvat.

Elementul principal al unui receptor de televiziune este tubul catodic, descris în capitolul IX, paragraful 7. Ca substanțe fluorescente se folosesc silicatul de zinc, wolframatul de calciu, și alte substanțe. Fasciculul electronic este deviat pe 625 linii orizontale de 25 ori într-o secundă. Numărul de puncte ale unei imagini televizate în acest mod rezultă a fi de:

$$\frac{4}{3} \times 625 \times 625 \times 25 = 13\,000\,000,$$

$\frac{4}{3}$ fiind raportul între lățimea și înălțimea imaginii. Presupunînd jumătate din puncte albe și jumătate negre, rezultă 6 500 000 impulsuri de curent pe secundă, deci 6,5 MHz (megaherți) este frecvența curentului fotoelectric și, totodată, aceasta este lățimea benzii de frecvență ce se transmite prin televiziunea cu 625 linii și 25 imagini pe secundă. Pentru unda purtătoare se ia o frecvență și mai mare, de circa 8 ori, așa încît frecvența purtătoare rezultă de aproximativ 50 MHz, deci cu o lungime de undă

$$\lambda = \frac{300\,000\,000\,\text{m}}{f} = 6\ \text{m}.$$

Totuşi, frecvenţe mai înalte au început a fi folosite în scopul reducerii paraziţilor, ajungîndu-se la frecvenţa de 200 MHz. Rezultă că televiziunea foloseşte undele ultrascurte, despre

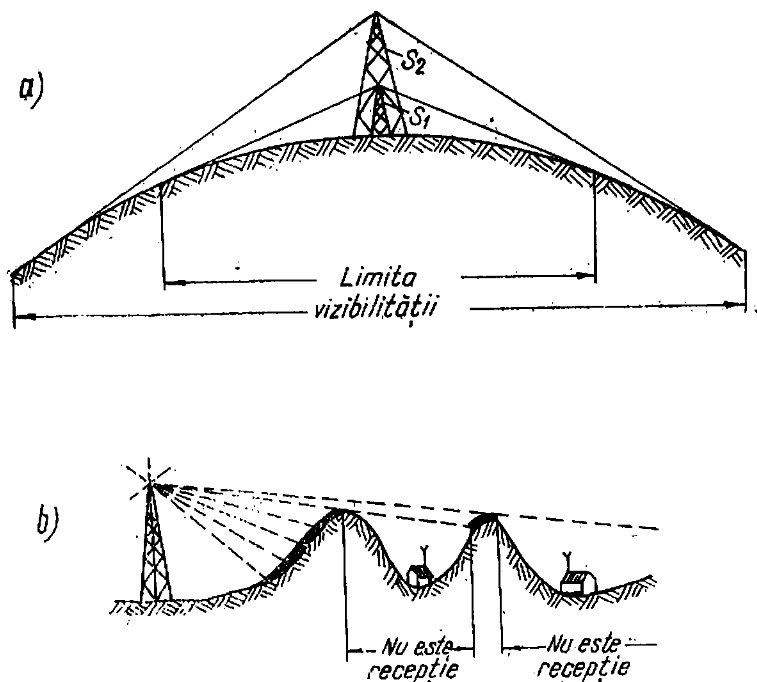


Fig. 27-22. Propagarea undelor ultrascurte:
a — mărirea limitei vizibilităţii; b — umbrele.

care se ştie că se propagă în linie dreaptă, la distanţe care nu depăşesc limitele vizibilităţii.

Bătaia unui post emiţător de televiziune nu depăşeşte cu mult orizontul (fig. 27—22, *a*) şi nu trece prin obstacole (de ex. munţi: fig. 27—22, *b*).

Modulaţia undei purtătoare în ritmul sunetului sau al imaginii (v. fig. 27—16) nu se face în amplitudine, ca în radiofonie, ci în *frecvenţă* (adică se variază frecvenţa undei purtătoare în ritmul sunetului sau imaginii). În acest caz, transmisia este deranjată mult mai puţin de către paraziţii atmosferici sau industriali, care sînt de fapt oscilaţii atenuate modulate în amplitudine şi nu influenţează unda care este modulată în frecvenţă.

Schemele aparatelor de emisie şi de recepţie de televiziune sînt mult mai complicate decît cele ale aparatelor de radiorecepţie şi descrierea lor iese din cadrul lucrării de faţă.

Trebuie subliniat faptul că, atît la emisie cît şi la recepţie, se transmit atît semnalele de imagine cît şi cele de sunet.

Tendinţa actuală în televiziune este ca într-un viitor apropiat să se părăsească procedeele de transmisie în alb-negru şi să se adopte procedee de redare a imaginilor în culori şi în relief.

Pe lîngă radiofonie şi televiziune, s-au studiat şi găsit şi alte aplicaţii undelor electromagnetice scurte (metrice şi centimetrice).

Astfel, cu ajutorul unor antene de formă specială se pot obţine radiosemnale dirijate care, întîlnind în drumul lor diferite obstacole, pot fi absorbite şi, parţial, reflectate şi difuzate de acestea. Pe fenomenul de reflecţie al undelor radiofonice pe corpuri metalice, se bazează metoda de observare a obiectelor la distanţe mari şi de determinare a poziţiei lor. Această metodă a primit numele de *radiolocaţie*.

Principiul acestei metode constă în următoarele: cu ajutorul unui generator şi al unui sistem special de antene, se obţine un fascicul dirijat de radiounde. După reflecţia lor pe obiecte (navă, avion etc.) undele ajung la instalaţia de recepţie şi sînt înregistrate. Pentru ca emisia semnalelor să nu dăuneze recepţiei lor, semnalele durează în total cîteva milionimi de secundă, iar întreruperile dintre semnale sînt de cîteva sute de ori mai mari. Recepţia undelor reflectate are loc în timpul întreruperilor dintre semnale. Din timpul scurs între plecarea şi întoarcerea semnalului se determină distanţa pînă la obiectul observat. Instalaţiile care permit determinarea în acest fel a poziţiei obiectelor cu ajutorul radiosemnalelor au căpătat denumirea de *instalaţii radar*.

TABLA DE MATERIE

'

Redactor responsabil: Ing. RASMERIȚA RODICA
Tehnoredactor: RUSU VIRGINIA

Dat la cules 22.11.1960. Bun de tipar 20.03.1961, Apărut 1961. Tiraj 4000+120 ex. leg. 1/2 pînză. Hîrtie semivelină de 65 g/m², 16/61×86. Coli editoriale 26,204. Coli de tipar 28,75. A 06197. C.Z. pentru bibliotecile mari 621.3(075.36). C.Z. pentru bibliotecile mici 621.3.

Intreprinderea Poligrafică „13 Decembrie 1918", str. Grigore Alexandrescu nr. 93—95, București, R.P.R., comanda nr. 3296.

ERATĂ

Pag.	*Rîndul*	*În loc de*	*Se va citi*	*Din vina*
345	7 de sus	7,7 mil kWh	7,7 miliarde kWh	Editurii
345	12 de sus	18 500 kWh	18,5 miliarde kWh	„